



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA BEZEŠVÝCH KRUHŮ TECHNOLOGIÍ RADIÁLNĚ-
AXIÁLNÍHO VÁLCOVÁNÍ**

PRODUCTION OF SEAMLESS RINGS BY TECHNOLOGY RADIAL-AXIAL ROLLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martina Zapletalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

ABSTRAKT

ZAPLETALOVÁ Martina: Výroba bezešvých kruhů technologií radiálně-axiálního válcování.

Práce je zaměřena na výrobu bezešvého kruhu z nízkolegované oceli 15 142, jenž plní funkci velkorozměrného ložiska. Na základě rozboru vhodných výrobních technologií byla zvolena metoda radiálně axiálního válcování a byl navržen konkrétní technologický postup výroby. V průběhu docházelo ke vzniku kovářenských vad ve formě přeložek, což bylo zcela nežádoucí. Změnou parametrů stroje, zejména změnou tvaru válcovací křivky a teploty, byl proces zoptimalizován a výroba proběhla zcela bez defektů.

Klíčová slova: Ocel 15 142, bezešvý kruh, válcování, stroj RAW

ABSTRACT

ZAPLETALOVÁ Martina: Production of seamless rings by technology radial-axial rolling.

The thesis is focused on the production of a seamless ring manufactured from low-alloyed steel 15 142, which fills the function as a large-dimensional bearing. On the basis of suitable production technologies analysis, the radial axial rolling method was chosen and a specific manufacturing process was proposed. During the manufacturing time, the creation of the forging defects in the transfers forms were occurred, which was totally undesirable. By changing the parameters of the machine, in particular the rolling curve and the temperature, the process was optimized and the production performed completely without defects.

Keywords: 15 142 steel, Seamless Ring, Rolling, RAW machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZAPLETALOVÁ, Martina. *Výroba bezešvých kruhů technologií radiálně-axiálního válcování*. Brno, 2017. 57 s., 2 výkresy, 9 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala především Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné rady, připomínky týkající se diplomové práce a zejména za velkou dávku trpělivosti. Dále bych ráda poděkovala společnosti Triangolo s.r.o. a to především Ing. Jaroslavu Stiborovi za ochotu, odborné rady a za pomoc při vypracování odborné části týkající se radiálně axiálního válcování. V neposlední řadě také děkuji své rodině a přátelům za neskonalou podporu v těch nejvíce náročných chvílích během celého studia.

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Bc. Martina Zapletalová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba bezešvých kruhů technologií radiálně–axiálního válcování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o stanovení výrobního postupu výroby rozvalku – tj. hladkého, případně tvarového bezešvého kruhu. Součástka je vyráběna technologií radiálně–axiálního válcování. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost součástky
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii
- uvést specifiká rozválcování kruhů
- provést zkoušky nastavení jednotlivých parametrů a zhodnotit jejich vliv na výrobní proces

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

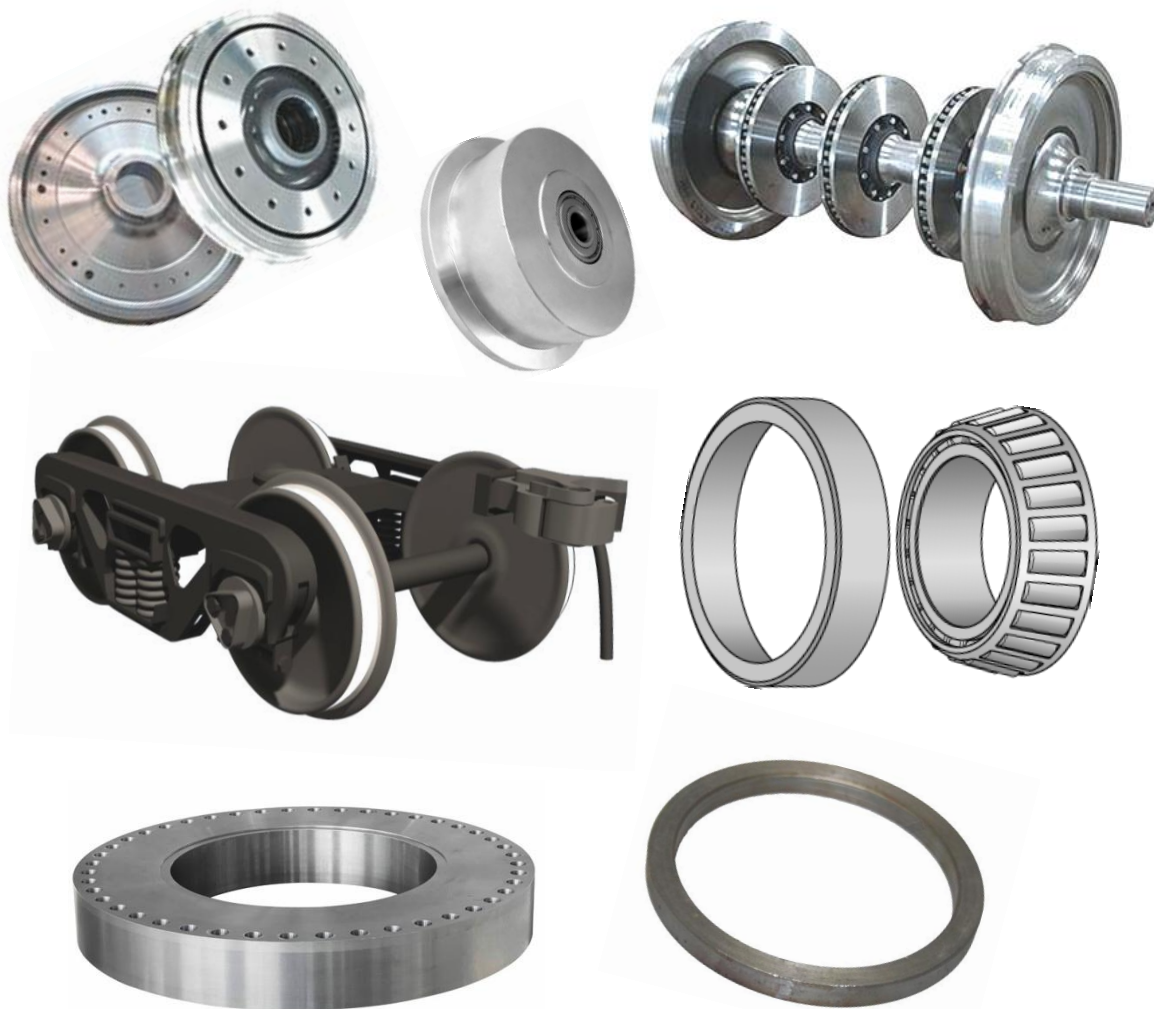
ÚVOD	- 9 -
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	- 10 -
1.1 Výrobní možnosti.....	- 11 -
2 TECHNOLOGIE RADIÁLNĚ AXIÁLNÍHO VÁLCOVÁNÍ.....	- 14 -
2.1 Fáze válcování a válcovací křivka.....	- 17 -
2.2 Ohřev	- 22 -
2.2.1 Druhy pecí a ohřevů	- 24 -
2.3 Pěchování.....	- 25 -
2.3.1 Řešení podle Siebela	- 26 -
2.3.2 Řešení podle Unksova	- 26 -
2.4 Děrování	- 27 -
2.5 Válcování.....	- 28 -
2.6 Technologičnost	- 30 -
3 NÁVRH VÝROBY	- 32 -
3.1 Stroj RAW 100 (125)/100 (125)	- 33 -
3.2 Postup výroby	- 35 -
3.3 Změna nastavení parametrů válcování	- 53 -
3.4 Vyhodnocení testovaných souborů	- 55 -
4 ZÁVĚRY	- 57 -

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [13], [22], [24], [26], [35], [40]

Strojírenství je jedním z významných oborů naší společnosti a jsou na něj kladeny, z hlediska rychlosti a přesnosti výroby, stále větší požadavky. S nároky je bezprostředně spojena kvalita a cena výrobků, do kterých je nutno investovat v rámci vývoje nových technologií. Tvar součástky lze zhotovovat různými metodami, jako jsou například slévání, obrábění, svařování a tváření.

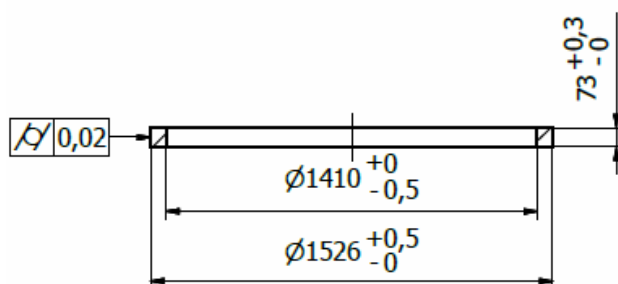
Tváření představuje jednu z výrobních technologií, při které dochází ke změně tvaru za pomoci přemístění a přetvoření objemu téměř bez odpadu. Lze jej dělit na objemové a plošné varianty, jenž jsou prováděny za studena, poloohřevu nebo za tepla. Mezi objemové technologie, které se provádějí za tepla, se řadí volné a zápustkové kování nebo modernější metoda radiálně axiálního válcování. Tímto postupem lze vyrábět bezešvé kruhy a kroužky, hladké nebo tvarové. Zmíněné součástky nacházejí široké uplatnění nejen v oblasti letectví, kde slouží jako objímky motorů, ale i při výrobě kolejových vozidel, nákolků nebo vnějších kruhů ložisek, přitlačných kroužků a otočí, viz obr. 1.



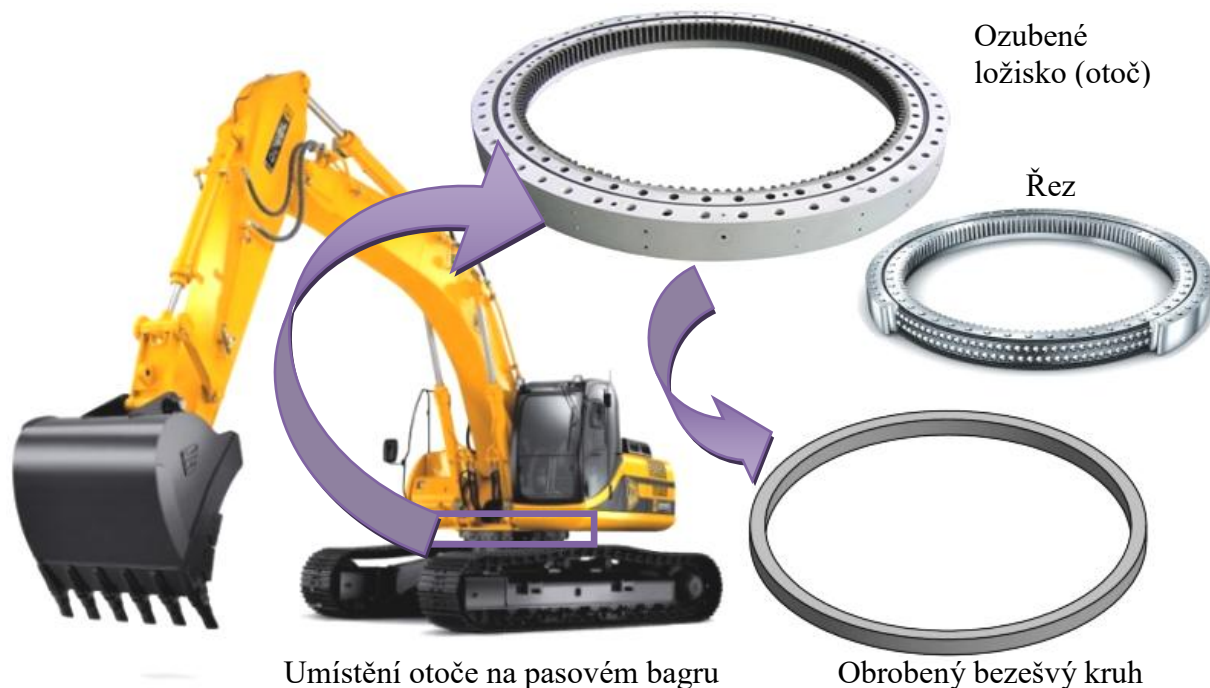
Obr. 1 Bezešvé kruhy, nákolky a vlaková kola [13], [22], [24], [26], [35], [40]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [11], [14], [15], [19], [20], [21], [25]

Řešeno součástkou je výroba hladkého bezešvého kruhu a pro jeho zhotovení je nutné vytvořit výkres dílu (obr. 2), jenž je obohacen o nutné tolerance a přídatky pro obrobení. Na základě požadavků zákazníka byla stanovena jednorázová zakázka na výrobu 64 kusů kruhů s vnějším průměrem $1526^{+0,5}_{-0}$ mm, vnitřním průměrem $1410^{+0}_{-0,5}$ mm a výškou $73^{+0,3}_{-0}$ mm viz výkres DP-01-A4. Výrobní čas uvedeného množství byl stanoven s přibližně měsíční dodací lhůtou. Díl slouží jako velkorozměrné ložisko tzv. otoč, který umožňuje přenášení kombinovaného zatížení v radiálním i axiálním směru a klopný moment. V důsledku uvedené funkce byla stanovena geometrická tolerance válcovitosti vnějšího průměru kruhu k ose o velikosti tolerančního pole 0,02 mm. Otoče jsou obvykle opatřeny upevňovacími otvory, vnitřní popř. vnějším ozubením, mazacími otvory a těsněním. Využívají se v mnohých strojních zařízeních jako například ložiska pro větrné elektrárny, manipulátory, polohovadla, otočné drapáky, navijáky, obráběcí stroje, nápravy, podvozky, vrtné soupravy a mnohé další. Konkrétní aplikace součástky je znázorněna na obrázku 3, kde pásový bagr využívá pro otáčení kabiny ozubené ložisko (otoč), jenž se vyrábí z bezešvého kruhu.



Obr. 2 Výkres součásti



Obr. 3 Využití otočí v praxi [11], [14], [15]

Z obrázku je také zřejmé, že je součást vysoce mechanicky namáhána za současného působení okolních vlivů. Volba vhodného materiálu pro jejich výrobu je klíčová, přičemž je požadována dostatečná pevnost, odolnost a houževnatost. Na základě uvedených informací

byla zvolena nízkolegovaná chrom-molybdenová ocel 15 142, jejíž chemické a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1 a alternativní značení v tabulce 2, viz příloha 1 a 2.

Tab. 1 Chemické složení a mechanické vlastnosti [19] [25]

Materiál	Ocel 42CrMo4						
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu [MPa]		Mez pevnosti [MPa]		A [%]	Z [%]	KV [J]
	650		900-1100		12	50	35
Chemické složení	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo
	0,38 – 0,45	0,4	0,6-0,9	0,035	0,035	0,9-1,2	0,15-0,3

Tab. 2 Alternativní značení oceli 15 142 [21]

Norma	ISO	EN	DIN	Číslo materiálu
Označení	42CrMo4	10083-1	42 CrMo 4	1.7225

Zmíněná konstrukční chrom molybdenová ocel k zušlechťování a povrchovému kalení se běžně používá na výrobu bezešvých kruhů a jiných výkovků. Dodává se v zušlechtěném stavu na hodnotu okolo 1000 MPa (33 HRC), ale i přesto si zachovává dostatečnou houževnatost. Nevykazuje náchylnost k popouštění křehkosti a kalí se do méně agresivního prostředí, protože mohou vznikat kalící trhliny nebo povrchové vady. Po zakalení je odolná vůči opotřebení. Vyznačuje se širokým úhlem použití, jak pro motorová vozidla, hřídele, spojovací součásti, tak i na nástroje pro lisování a tváření.

Součástku bude vyrábět firma Triangolo (obr. 4), která se řadí mezi jednu z firem, jenž se zabývá zhotovováním bezešvých kroužků. Jedná se o dynamicky rozvíjející průmyslovou kovárnu, která se specializuje na zakázkovou výrobu malých až středních sérií výkovků. Kromě klasické kovárenské činnosti mají v nabídce také tepelné zpracování (žihání a zušlechťování), obrábění a finální kontrolu ultrazvukem nebo jinou nedestruktivní metodou. Výrobní možnosti firmy jsou dány dostupnými technologiemi, proto jsou nabízeny zápusťkové výkovky (rotační, tvarové nebo příruby), bezešvé rozválcované kruhy (hladké nebo profilované) a volné výkovky.



Obr. 4 Charakteristické operace a logo firmy [20]

Kovárna byla postavena a uvedena do provozu v roce 1955, kdy se věnovala jen volnému kování v strojírenské a vojenské oblasti. Po roce 1969 se stala součástí národního podniku TOS Hulín, následně v roce 1994 byla zprivatizována společností Triangolo. Během pár let nastal obrovský pokrok a byla vybudována hrubovna a kalírna. Cílem společnosti je dbát na vysokou kvalitu, co nejkratší dodací termíny, příznivou cenu a vstřícný přístup k zákazníkovi. Díky těmto kritériím patří firma k významným dodavatelům společností, jako jsou SKF, PSL, ZKL, Siemens atd.

1.1 Výrobní možnosti [12], [16], [27], [29], [33], [38]

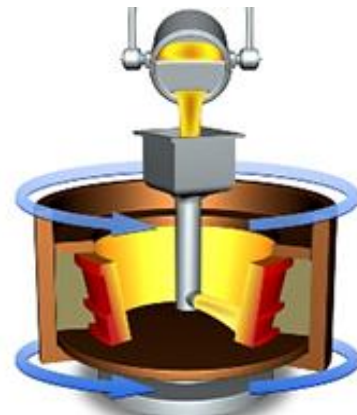
Na základě stanovených tvarových, funkčních a rozměrových požadavků zadaného dílce, lze uvažovat několik vhodných technologií pro zhotovení tvaru. Při volbě je nutné přihlídnout hned k několika aspektům, mezi které kupříkladu patří kvalita povrchu a výsledná struktura.

Možné technologie, jež se nabízí pro výrobu dílu jsou následující:

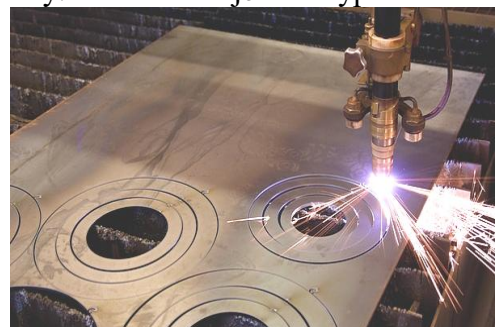
- Soustružení - jedná se o jednu z třískových metod výroby, kdy dochází k úběru materiálu za pomoci soustružnického nože. Hlavní řezný pohyb je rotace a koná ji obrobek, vedlejší pohyb je posuv a přísuv, jež provádí nástroj s břitovou destičkou. Z technologického hlediska není možné kruhy vyrábět na klasickém soustruhu, protože jejich délka je mnohonásobně menší než průměr. Proto přichází v úvahu karuselové obrábění znázorněno na obr. 5, které pracuje na podobném principu jako klasické obrábění, s tím rozdílem, že je orientováno svisle a dokáže zhotovit i rozměrnější výrobky na jedno upnutí včetně vyfrézování a vyvrtání. Zvolený materiál 42CrMo4 je poměrně dobře obrobitelný, jelikož je dodáván ve stavu žíhaném na měkko, což se jeví jako výhoda. Problémem je ale odpad na vnitřní otvor a nevýhodou je rovněž vznik nedokonalé materiálové struktury, protože dochází k porušení materiálových vláken. Pro vytvoření základního tvaru je metoda nevhodná, avšak jako dokončovací operace k dodržení rozměrových tolerancí bude vhodná. Samotné karuselové obrábění je velmi časově náročný postup, poněvadž je nutné nejprve hrubovat základní tvar, kdy je snaha odebrat co největší množství materiálu a následně dokončit na finální rozměry s co nejmenší třískou a získat tak požadovanou drsnost povrchu. Kromě zmíněných negativ je zde ještě velmi podstatná nevýhoda a tou je množství odpadu a cena břitových destiček.
- Odstředivé lití - v tomto případě se jedná už o beztřískovou technologii, při které se odlije roztavený kov do předem připravené tvarové formy (obr. 6). Touto metodou se vyrábí odlitky, při nichž je kov přitlačován odstředivou silou ke stěnám formy, kde postupně tuhne. Tekutý kov se stejnosměrně rozprostírá po celém vnitřním povrchu a chladne jako dutý válec. Výhodou je dutý střed, čímž odpadá i nutnost užití jádra, což se promítne ve výsledné ceně odlitku. Kromě absence jádra není nutná vtoková soustava ani výfuky, protože plyny mohou samovolně odcházet. I přes cenu odlitku se tato technologie také nejeví optimální vzhledem k výsledné nežádoucí dendritické struktuře vznikající při chladnutí. Kromě ní jsou v odlitku viditelné vady jako staženiny, póry a vměstky. Problémem je také typ materiálu, protože vhodné materiály pro kontinuální lití jsou slitiny zinku, cínu a olova. Z tohoto důvodu nebude zvolena ani tato metoda pro výrobu bezešvého kruhu.
- Řezání plazmou - jedná se o dělení materiálu ionizovaným plynem, kde dochází k velmi rychlému natavení. Plazmovým hořákem proudí kromě řezacího plynu také ochranný a fokusační, který zaostřuje paprsek na jeden bod. Tato metoda (obr.7) se perfektně hodí pro středně silnou ocel,



Obr. 5 Karuselové soustružení [33]



Obr. 6 Odlévání [12]



Obr. 7 Vypalování plazmou [29]

má podstatně méně kvalitní povrch a nedochází k žádoucímu zpevnění materiálu. Optimální kvality se dosáhne správným nastavením řezacího proudu. Pro urychlení je také možné použít více hořáků najednou, ale jedná se o poměrně velké zvýšení nákladů, které nemusí být výhodné. Nevýhodou je také tvorba škodlivých plynů, které je nutné z místa odsávat. Plazmou lze materiály řezat do tloušťky přibližně 160 mm a volba plazmového plynu se odvíjí od druhu řezaného materiálu, pro legované oceli se například užívá argon/vodík. Při vyřezávání by bylo spotřebováno velké množství argonu, což by se projevilo ve výsledné ceně výpalku. Kromě spotřeby plynu by zde hrál podstatnou roli i nevyužitelný odpad, což by mělo negativní dopad na cenu výrobku. Ze zmíněných důvodů tato metoda nebude také použita pro výrobu bezešvého kruhu.

- Radiální válcování - tento výrobní postup se řadí do oblasti tváření, kde dochází k přemísťování objemu bez ztráty materiálu ve formě třísek. Je to jedna z mála známých metod, při které se ohřeje špalek v peci na válcovací teplotu, přesune na lis a provede se předpěchování na danou výšku. Poté je „předkovku“ prostříhnut otvor a nasadí se na trn radiální válcovačky, obr. 8. Za pomoci zdvihu je prstenec tvářen a zvětšuje svůj průměr, ale výška se neredukuje, což je značná nevýhoda. Tento proces je oproti předchozím přijatelný, ale i přesto nebude na součást aplikován.



Obr. 8 Radiální válcování [16]

- Radiálně axiální válcování - princip je obdobný, jako u předchozí metody, ale navíc je zde kromě zvětšování průměru přidána redukce výšky (obr. 9), čemuž napomáhají axiální kladky. Tato technologie je výhodná, protože dokáže přetvářet součást v obou hlavních směrech, ale zařízení je poměrně cenově náročné. Firma shodou okolností vlastní od roku 2010 ve strojovém parku zařízení, které provádí radiálně axiální válcování, proto se tato metoda jeví jako nejlepší. Díky vlastnostem nového stroje a dokonalému prokování kruhu je tato metoda nejvhodnější pro výrobu zadaného dílce.

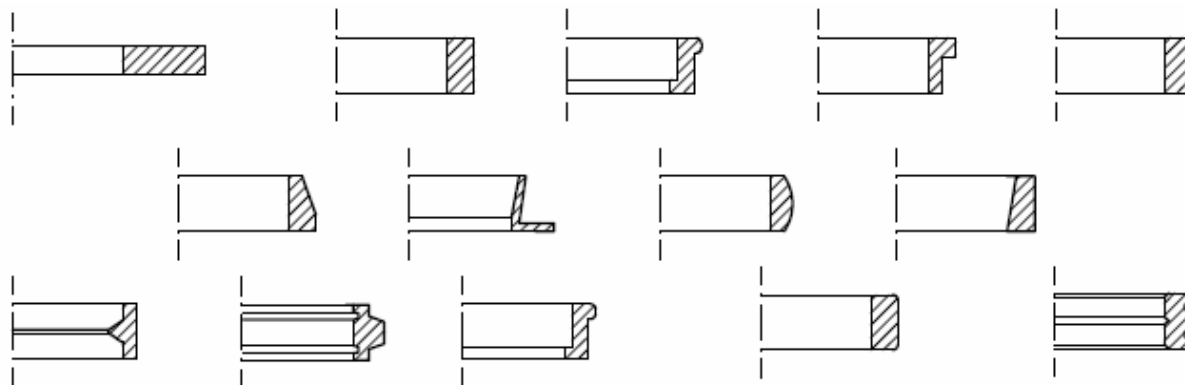


Obr. 9 Radiálně axiální válcování [27]

Ze všech zmíněných metod vychází nejvhodněji metoda radiálně axiálního válcování, která zahrnuje jak zvětšování průměru prstence, tak redukci výšky. Na tuto technologii bude zaměřená teoretická i praktická část diplomové práce. Po zhotovení součásti je nutné počítat s dodatečnou třískovou operací, která vytvoří požadovanou rozměrovou přesnost a drsnost povrchu.

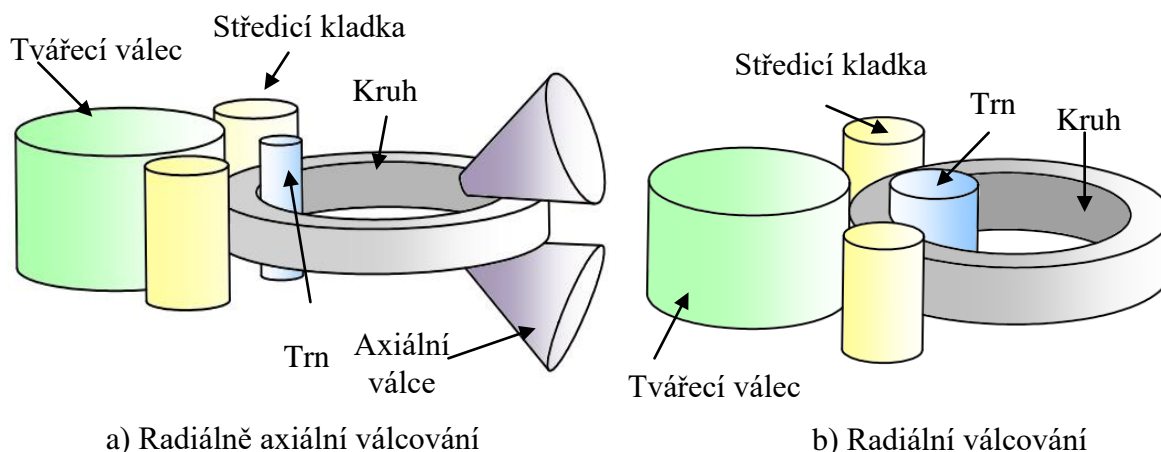
2 TECHNOLOGIE RADIÁLNĚ AXIÁLNÍHO VÁLCOVÁNÍ [5], [9], [28], [36]

Díky schopnosti tvářet kov dvěma směry je možné vyrobit technologií radiálně axiálního válcování (dále RA) nepřeberné varianty tvarových i hladkých kruhů. Tato metoda slouží k výrobě obručí, bezešvých, tvarových a hladkých kruhů, které dále slouží jako polotovary pro další zpracování a výrobu. Příklady součástí, které se běžně vyrábí, jsou znázorněny na obrázku 10, viz příloha 3.



Obr. 10 Varianty tvarů a profilů kruhů [9]

Samotný proces (obr. 11a) probíhá mezi tvářecím válcem a trnem, kdy dochází k radiálnímu rozšíření průměru mezi kuželovými kladkami, které způsobují axiální redukci výšky. Do nedávné doby se používala velmi podobná metoda, kde se materiál tvářel pouze jedním směrem bez zmenšování výšky, která je znázorněna na obrázku 11b).



a) Radiálně axiální válcování

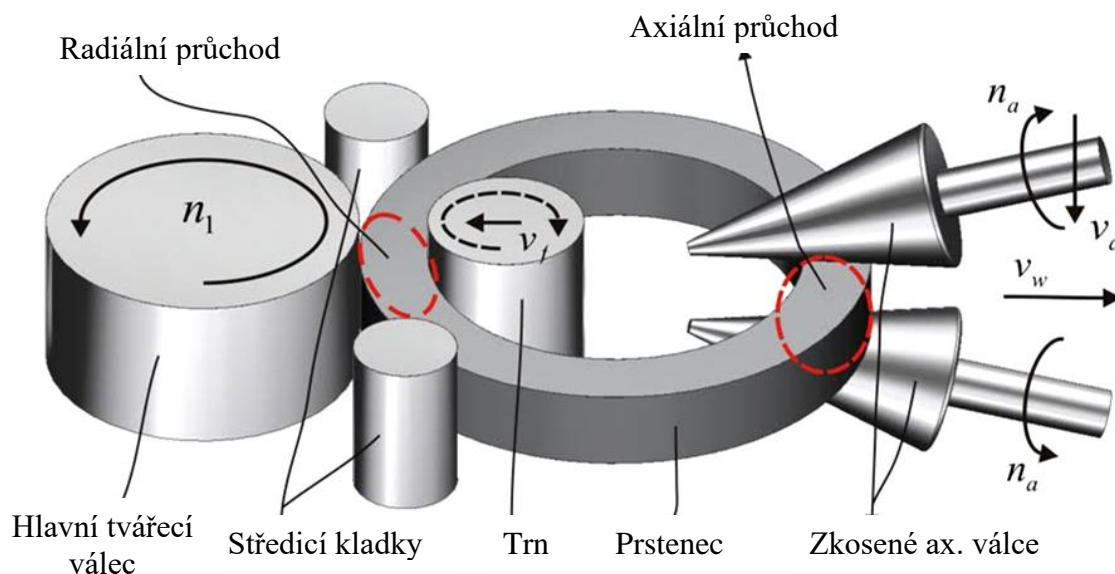
b) Radiální válcování

Obr. 11 Rozdíl mezi starším a novějším válcováním kruhů [28]

RA tváření je velmi výhodné, protože dochází ke zmíněnému tváření čelních ploch, což způsobí kvalitnější prokování součásti, zpřesnění rozměrů a geometrického tvaru, čímž je vývalek velmi podobný finálnímu tvaru. Tím je snížen objem materiálu vstupujícího do tvářecího procesu a samozřejmě i náklady. Kromě všech výhod sebou zajisté nese i nevýhody, a to hlavně ve složitější konstrukci stroje a případné komplikace spojené se synchronizací rychlostí radiálních i axiálních válců, která je nutná pro jeho správný chod. Nesprávné nastavení může mít za následek porušení tvaru a vznik neshodného kusu. Jedna z příčin narušení synchronizace je změna velikosti válcovacích sil během procesu, což za přispívání dalších vlivů vede ke kolísání krouticího momentu a otáček pohonu. Kromě těchto kritérií je

důležité mít pod kontrolou pohony horního a spodního kuželového válce, které musí být taktéž synchronizovány.

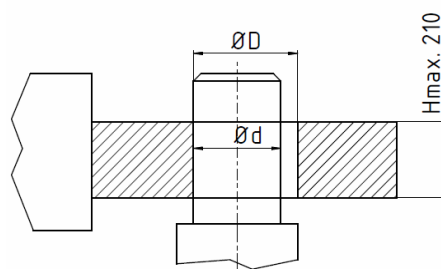
Radiální i axiální proces pracuje na principu malých přírůstků deformace, které jsou několikrát opakovány až do vytvoření finálního tvaru kruhu. Na obrázku 12, je znázorněna výroba kruhů s patřičnými nástroji a směry pohybu.



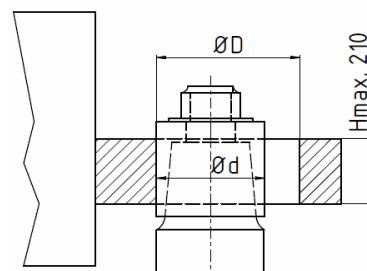
Obr. 12 Schéma radiálně axiálního válcování [5]

Rozšiřování průměru kruhu v radiálním směru se uskutečňuje hned mezi několika nástroji současně. V tvářecím procesu se uplatňuje:

- Tvářecí válec - někdy nazýván hlavním válcem procesu, který koná rotační pohyb a je pevně spjat s rámem stroje. To znamená, že kromě rotace neprovádí prakticky žádný jiný pohyb. Může být hladký nebo tvarový a tím tak vytvářet profily na vnějším průměru vývalku.
- Trn - jedná se o nejdůležitější prvek stroje, který není samostatně poháněn. Je točně uložený v horizontálně posuvném rámu a vyvíjí tak s posuvem tlak na vnitřní stranu prstence a tím i na hlavní válec. Jeho rozměr je podstatně menší a řídí se prostříženým otvorem v předkovku. Existuje mnoho provedení, které se řídí požadavkem vnitřního tvaru prstence nebo upnutím. Je vyráběn například:
 - Plný - jedná se o válec hladký (obr. 13) nebo tvarový dle požadovaného profilu válcovaného kruhu. Jeho nevýhodou je, že po opotřebení jej nelze nadále používat a je nutné ho nahradit novým. Dalším negativem je poměrně vysoká cena nových nástrojů. Výhodné využití je při vyšších válcovacích tlacích a větší výrobnosti. Jejich průměr je navržen a odstupňován od 15 až do 280 mm.
 - S nástavcem - kromě klasického trnu existuje také tato výhodnější alternativa (obr. 14), kde po opotřebení nástroje lze vyměnit pouze nástavec, který je podstatně levnější než samotný trn. Velikost a rozměry se volí podle otvoru v desce a průměru otvoru v předkovku. Při



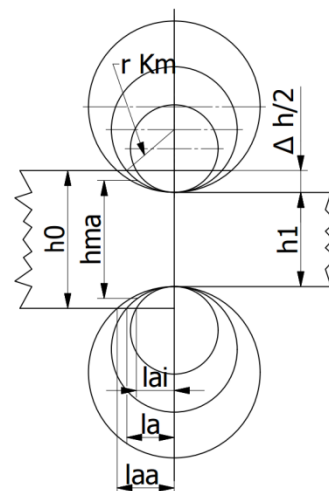
Obr. 13 Plný trn [36]



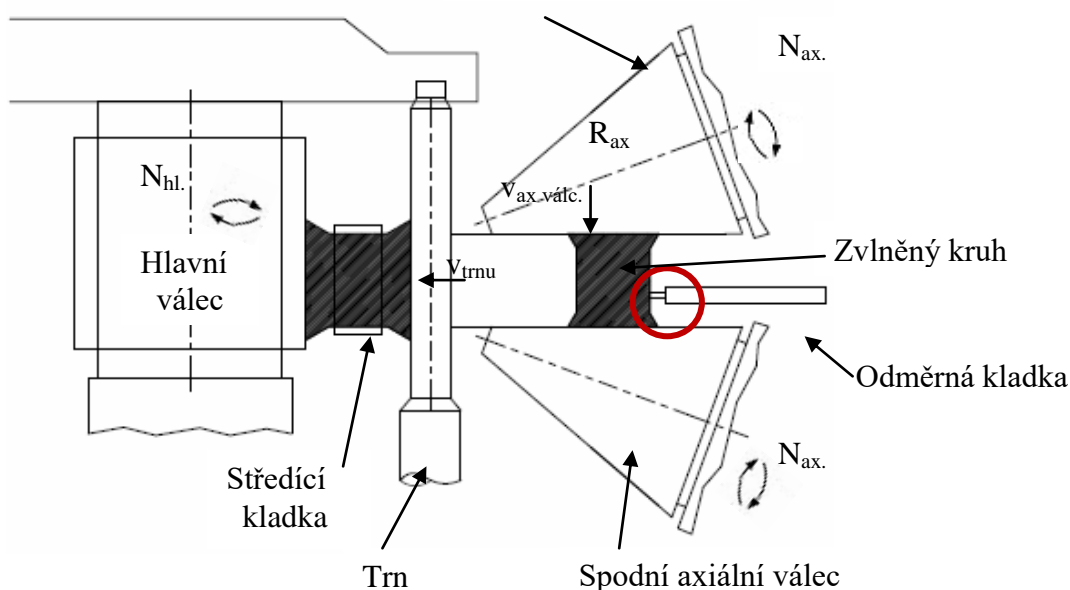
Obr. 14 Trn s nástavcem [36]

Technical drawing of a shaft-hub assembly. The drawing shows a cross-section of a shaft (bottom) and a hub (top) with a central hole. The shaft has a diameter labeled $\varnothing d$. The hub has an outer diameter labeled $\varnothing D$. The assembly is shown with a dashed line indicating the center of the hole.

- Obr. 15 Plný trn
podepřený [36]



Horní axiální válec



Obr. 17 RA válcování s podepřeným plným trnem a s odměrnými kladkami [28]

2.1 Fáze válcování a válcovací křivka [9], [10], [32], [36]

Při změně tvaru kruhu během tvářecího procesu lze obecně pozorovat několik fází, které jsou zobrazeny na obrázku 18 a mají charakteristické chování:

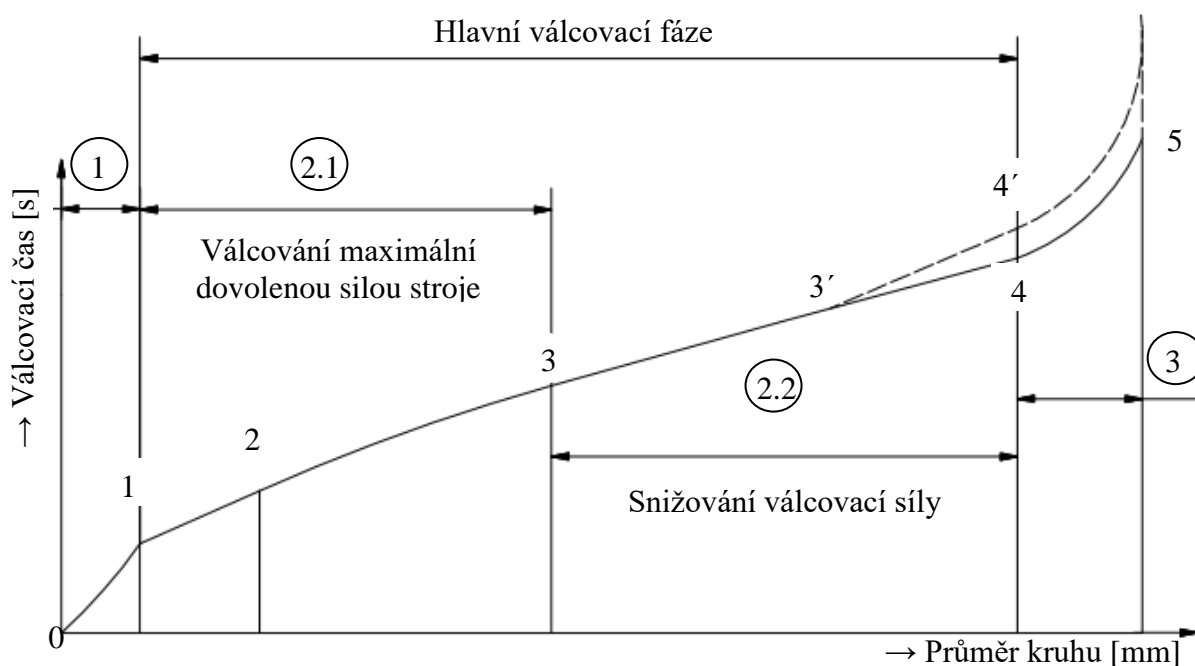
- Začátek válcování - za pomoci přísuvu trnu je výkovek postupně roztáčen a postupně zakružován. Trn musí sledovat povrch výkovku, aby docházelo k permanentnímu kontaktu. V případě velmi členitého povrchu a nedodržení správného přísunu trnu je nebezpečí porušení nástroje i tvářeného dílce. Po přitlačení trnu na tvářený materiál se válcovací síla zvýší na maximální dovolenou hodnotu danou typem nástroje. Počet otáček závisí na ovalitě předkovku a správně vystředěném otvoru po děrování. Po okamžiku srovnání v radiálním průřezu a dosažení rychlosti růstu kruhu $15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ následuje další fáze. Hodnota rychlosti růstu prstence lze vypočítat jako časová derivace průměru kruhu z následujícího vzorce:

$$\dot{D} = \frac{dD_v}{dt} \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde: D_v - je vnější průměr kruhu [mm]

t - je čas válcování [s]

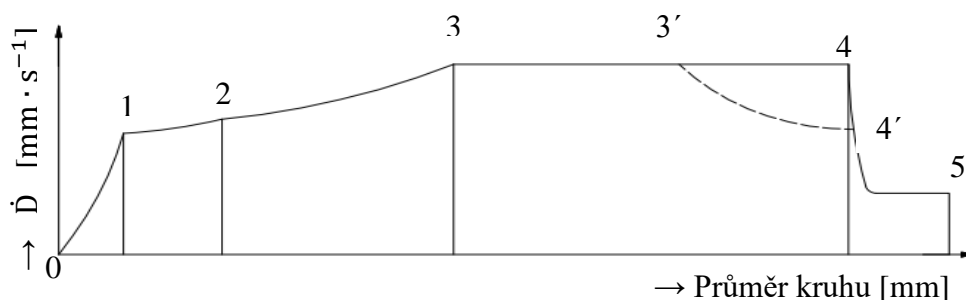
- Válcování - samotný proces probíhá při maximální zvolené síle. Válcovací síla by měla probíhat stejnou rychlostí růstu kruhu, ale ve skutečnosti musí být u velkých prstenců snižována, aby byla zachována hodnota \dot{D} .
- Doválcování - slouží ke snížení rychlosti růstu kruhu, při němž je dosažen konečný průměr prstence.
- Kalibrace - poslední fáze procesu, ve které je kruh tvarován na konečný rozměr téměř bez působení válcovací síly.



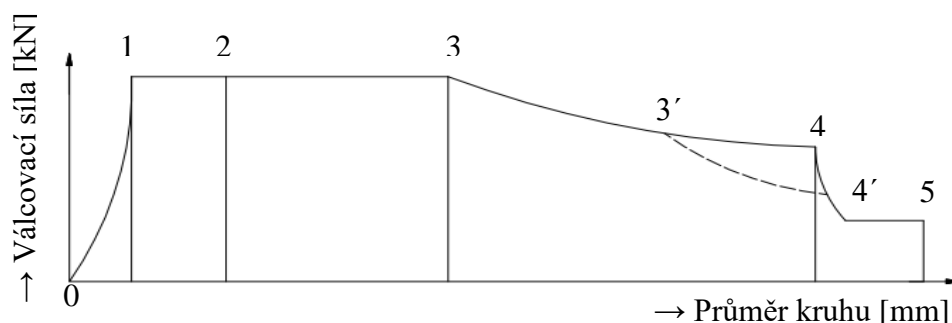
0 až 1 - roztočení kruhu a začátek válcování, 2 - začátek axiální redukce, 3 - začátek snižování válcovací síly, 3 až 4 - válcování s konstantní rychlostí růstu kruhu, 3' až 4' - snižování redukce, 4 - zakružování a doválcování na finální rozměr

Obr. 18 Obecná závislost válcovacího času na průměru kruhu [9]

Kromě klasické závislosti času na průměru existuje spousta dalších průběhů, které názorně ukazují chování prstence při tváření. Na obrázku 19 lze pozorovat závislost rychlosti růstu kruhu se zvyšujícím se průměrem a na obrázku 20 závislost válcovací síly na průměru kruhu, přičemž maxima je využito při fázích 1 a 3.



Obr. 19 Závislost rychlosti růstu kruhu na průměru [9]



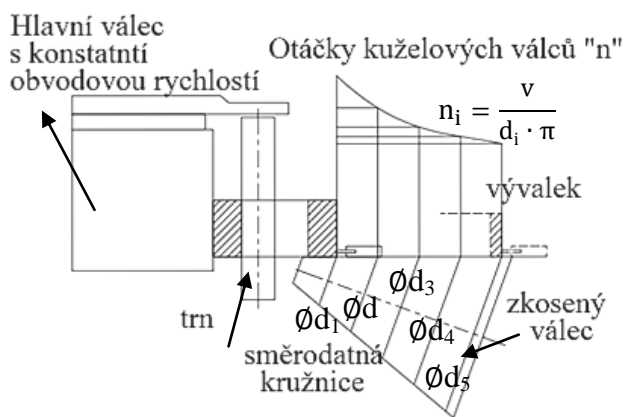
Obr. 20 Průběh válcovací síly v závislosti na průměru kruhu [9]

Během hlavní válcovací fáze se vyskytuje problém se synchronizací hlavního tvářecího válce a axiálních kuželů. Aby obvodová rychlost válců byla synchronizována s radiální, je nutné volit správný stykový průměr. Ten se nazývá směrodatná kružnice (obr. 21), kterou lze pomocí čtyř stupňů mechanické převodové skříně měnit. Obvodová rychlost kuželových válců bude na zvolené směrodatné kružnici vždy stejná s hlavním pracovním válcem.

Válcování na této zvolené ploše je zajišťováno pomocí čidla, které má za úkol během procesu zajistit přísun vertikální stolice tak rychle, aby vnější průměr rozvalku se stále pohyboval po zvolené kružnici. Výpočet obvodové rychlosti lze uskutečnit pomocí vztahu:

$$v = r \cdot \omega = r \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

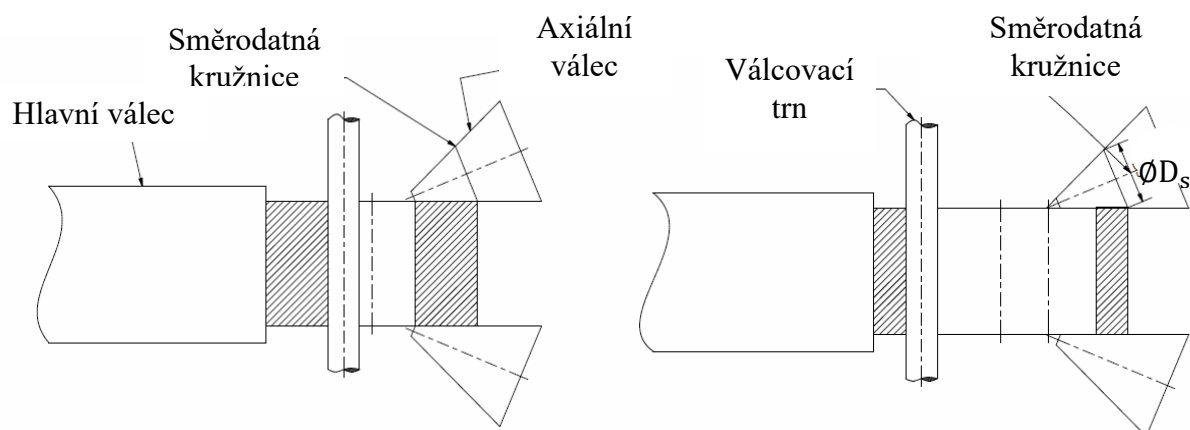
kde: r - je měřený poloměr [mm]
 ω - je obvodová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]
 n - jsou otáčky kuželových válců [min^{-1}]



Obr. 21 Znázornění směrodatné kružnice [9]

K určení této kružnice, na které se bude konkrétní kruh válcovat, slouží válcovací diagram. Vzhledem k tomu, že během válcování jsou radiální a axiální válce vzájemně svázány válcovaným materiálem, je nutno zajistit vzájemnou vazbu jejich pohonů.

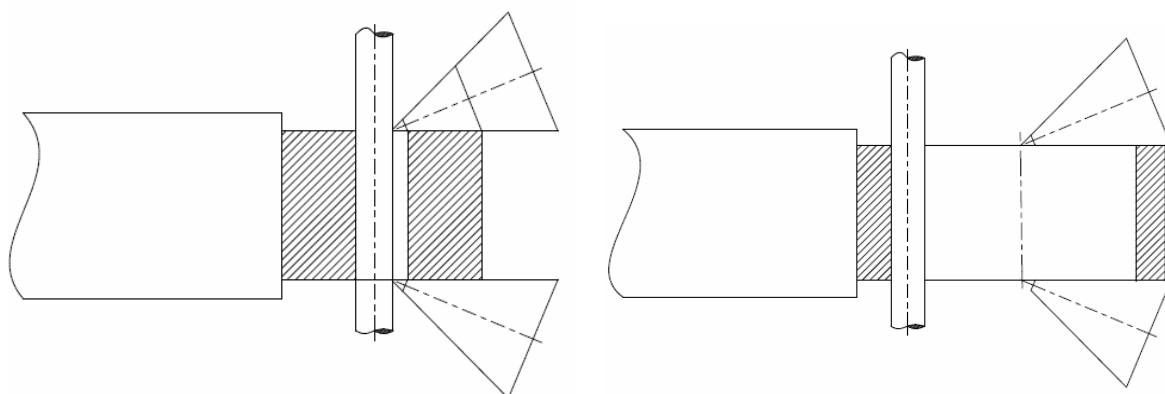
Hlavní pracovní válec přichází do styku s rozvalkem pouze na jeho obvodu, tudíž obvodová rychlost jeho vnějšího pláště a současně válce je shodná. Aby nedocházelo k prokluzu mezi rozvalkem a axiálními válci, musí mít povrch kružnice kužele, po kterém se v daném okamžiku odvaluje největší průměr a stejnou obvodovou rychlost jako hlavní válec. Dodržení této podmínky zajišťuje válcování bez prokluzu (obr. 22), přičemž aby nedocházelo k prokluzu v dalších místech styku, musí platit podmínka protnutí osy kuželu s osou rozvalku v rovině válcování.



Obr. 22 Válcování na směrodatné kružnici [36]

Podmínky válcování s minimálním prokluzem vyžadují, aby se podle počátečních a konečných rozměrů rozvalk axiálně válcovalo v té části kuželových válců, kde je nejlépe splněna podmínka válcování bez prokluzu.

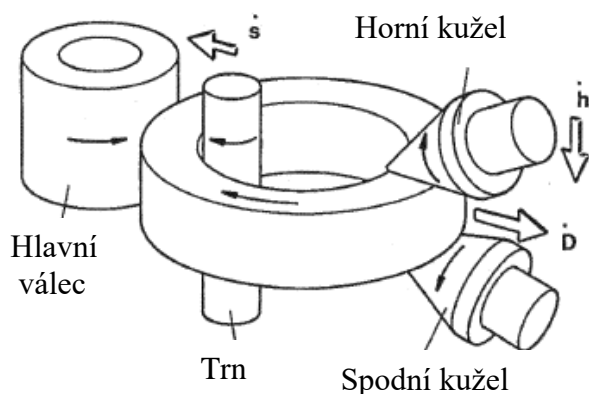
Válcovací diagram vychází z principu bezprokluzového (ideálního) válcování (obr. 23), kdy osa axiálního kuželového válce se protíná s okamžitou osou rozvalku v rovině válcování, přičemž z tohoto hlediska přísluší každé směrodatné kružnici pouze jeden jeho průměr splňující danou podmínku. Takto získaný průměr je výchozím bodem křivky válcování.



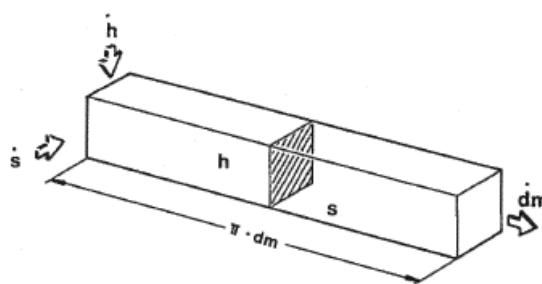
Obr. 23 Ideální bezprokluzové válcování [36]

Válcovací křivka udává, jak se bude zvětšovat vnější průměr plné kružnice o průměru dvojnásobném jako je vzdálenost směřodátne kružnice od vrcholu kuželového axiálního válce. Bude-li při zachování její plochy kruh zvětšovat její vnitřní otvor při zachování konstantní výšky kruhu.

Obrázek 24 znázorňuje směry redukce a rychlosti růstu kruhu, na obrázku 25 je zobrazen základní tvarový element.



Obr. 24 Znáznornění rychlostí redukce průřezu v procesu [9]



Obr. 25 Element tvářeného materiálu [9]

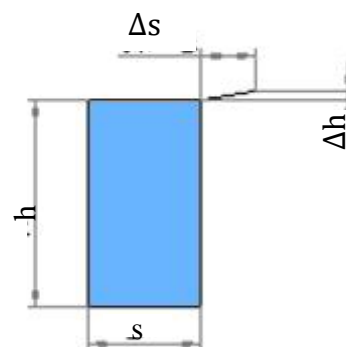
Jak výpočet rozměrů předkovku, tak také metodika stanovení tvaru válcovací křivky vychází ze základního vzorce:

$$\frac{\Delta s}{\Delta h} = \frac{h_r}{s_r} \quad (2.3)$$

kde: h_r je výška rozvalku [mm]
 s_r síla stěny rozvalku [mm]
 Δh je redukce výšky [-]
 Δs je redukce stěny [-]

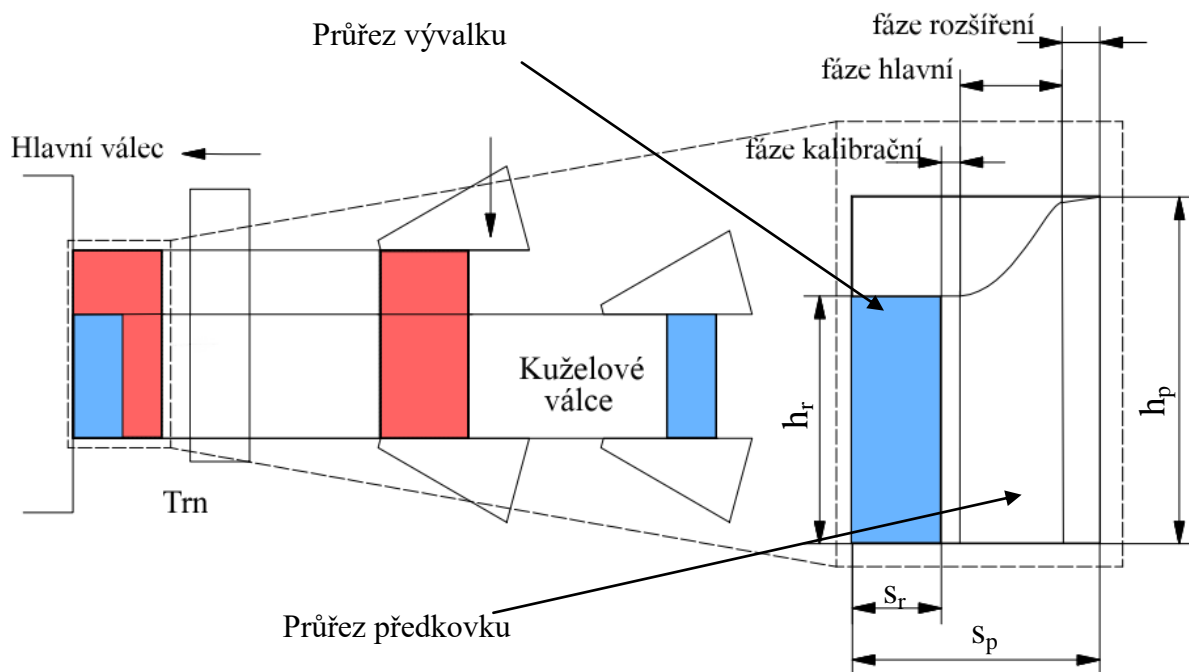
Tento vztah platí v celé délce válcovací křivky (dále VK) s výjimkou kalibrační a počáteční fáze rozšiřování, kde je nulový nebo minimální podíl axiálního válcování. VK je konstruována postupně (obr. 26) od jejího koncového bodu daného profilem rozvalku po počáteční bod. Výsledkem konstrukce je tak teoretický profil předkovku.

Příklad podílu radiální a axiální redukce v obecném bodě hlavní fáze je pro aktuální hodnoty $h = 300$, $s = 100$ okamžitá redukce síly stěny $\Delta s = 3 \Delta h$ (viz obr. 26). Na obrázku 27 je znázorněn proces válcování s redukcí výšky i tloušťky materiálu a vhodnou válcovací křivkou s popisem fází.



Obr. 26 Postupná tvorba VK [32]

Konkrétní řešení konstrukce VK a výpočet předkovku je duševním vlastnictvím firmy Triangolo



Obr. 27 Znáznornění průřezu tváreného materiálu s příslušnou válcovací křivkou [10]

Ze vzorce (2.3) vyplývá, že nadčtvercové profily s podmínkou $h_r > s_r$ mají válcovací křivku plochou, s malým podílem axiální redukce. Výpočet rychlosti radiální redukce lze za předpokladu $\dot{h} = 0$ určit z následujícího vzorce:

$$\dot{s} = \frac{s}{D_v - 2 \cdot s} \cdot \dot{D} \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde: s - je tloušťka stěny [mm]

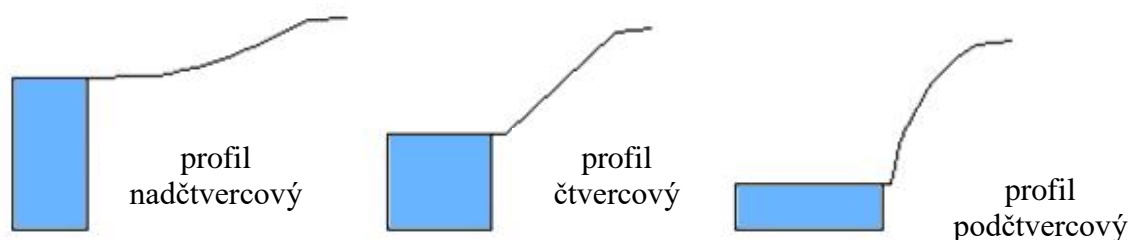
D_v - je vnější průměr kruhu [mm]

\dot{D} - je rychlost růstu kruhu [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

Profily nadčtvercové naopak křivku strmou s převážujícím podílem složky axiální redukce. Výpočet rychlosti axiální redukce lze za předpokladu $\dot{h} = 0$ z následujícího vzorce:

$$\dot{h} = \frac{h}{D_v - s} \cdot \dot{D} \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.5)$$

Tvar VK pro jednotlivé typy profilů je znázorněn na obrázku 28.

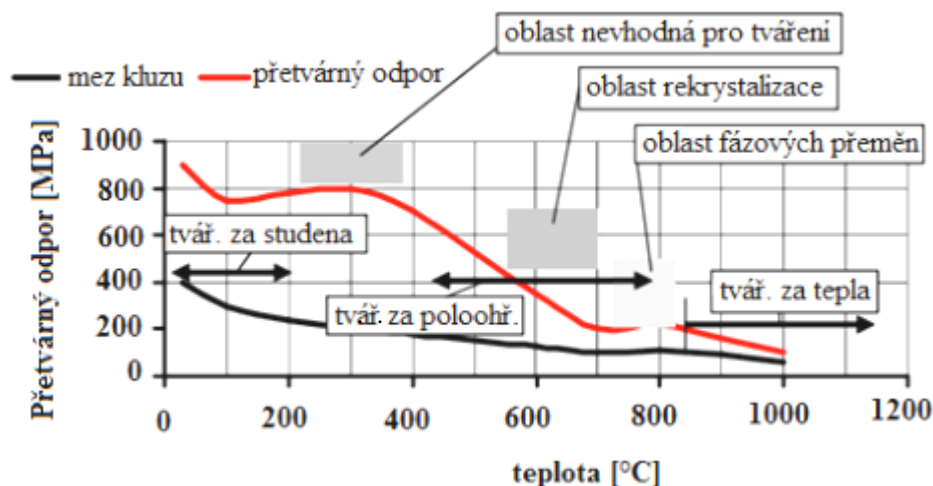


Obr. 28 Tvary VK pro různé profily vývalku [10]

2.2 Ohřev [3], [6], [34], [41], [42], [43]

Pro správnou tvárnost a chování materiálu je základním předpokladem dodržení správných teplot nebo teplotního intervalu.

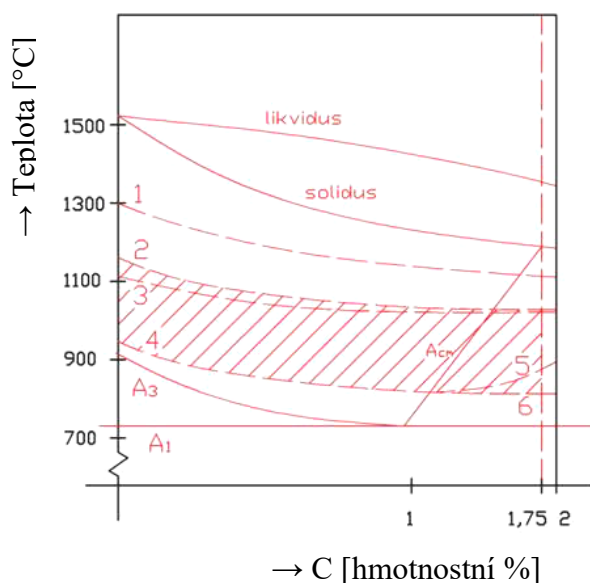
Zpravidla je válcováno při nejvyšších přípustných teplotách, protože se při nich materiál nejsnadněji tváří a tím jsou kovací časy kratší, což se příznivě projevuje na životnosti nástrojů a energetické náročnosti procesu. Čím vyšší je teplota, tím nižší je deformační odpor a tím menší je opotřebení nástrojů. Průběh deformačního odporu při tváření v různých oblastech teplot je znázorněn na obrázku 29.



Obr. 29 Závislost přetvárného odporu na teplotě [44]

Nízkolegované oceli mohou být válcovány jen v určitém poměrně úzkém rozmezí teplot, pokud je příliš vysoká rapidně hrubne zrna a při nízké pro změnu dochází k trhlinám. V těchto případech je nutno materiál několikrát dohřívat a tvářet na několik ohřevů, což se většinou děje u větších výkovků. Obrázek 30 znázorňuje oblasti tvářecích teplot. Horní tvářecí oblast je u ocelí vymezena teplotou tavení, která leží zhruba 200 - 300°C pod křivkou solidu, spodní pak přeměnou fáze gama v alfa. Volba správných tvářecích teplot je velmi důležitým technologickým i ekonomickým činitelem.

Kontrola intervalů je jednou z podmínek správného válcování. Prodlěva na vysokých teplotách nemá být příliš velká, protože hrozí nebezpečí zhrubnutí zrna materiálu, což přináší problém s následnou úpravou a je třeba zařadit tepelné zpracování. Zpravidla se jedná o normalizační žíhání pro srovnání zrna. Pro správný technologický předpis ohřevu materiálu je nutné vzít v úvahu chemické složení, interval teplot, při němž má největší tvárnost, změny struktury materiálu během ohřevu a ochlazování.



1 - horní tvářecí teplota (HTT), 2 - počáteční tvářecí teplota (PTT), 3 - dolní tvářecí teplota (DTT), 4 - dotvářecí teplota (DT)

Obr. 30 Oblast tvářecích teplot [43]

Konečná ohřívací teplota materiálu pro kování a válcování závisí na složení oceli. Pro každý druh oceli existuje určitá maximální teplota, na kterou lze ocel ohřát bez nebezpečí degradace. S rostoucím obsahem legujících prvků klesá tepelná vodivost oceli, což je nežádoucí jev. Při překročení dovolené rychlosti ohřevu dochází k velkým teplotním rozdílům v předkovku, které jsou příčinou nebezpečných tepelných pnutí. To je nutné hlídat v první fázi ohřevu v teplotním intervalu 0 - 500°C. Dosáhne-li jádro předkovku teploty 500°C, je materiál dostatečně plastický a lze zvýšit rychlost ohřívání. Vysoké tvářecí teploty při oxidační atmosféře způsobují opal a značné oduhličení.

Během ohřevu může dojít k přehřátí (obr.31) a nebo spálení. Při povrchovém spálení dochází u výkovků velmi často k vzniku trhlin na povrchu, které nejsou hned zřejmé a projeví se teprve až po moření výkovku. Spálený materiál již nelze regenerovat a opal znamená hmotnostní ztrátu. Ke spálení oceli dochází při ohřevu, jestliže se dosáhne teploty tavení. V oceli se začnou natavovat hranice austenitického zrna a v roztaveném pásmu kolem jednotlivých zrn se začne kromě již dříve rozpuštěné síry rozpouštět fosfor, který se opět difúzními pochody přemísťuje ze zrn do oceli. Má-li výkovek dostatečné přídavky na obrábění, nemusí se vždy jednat o neshodný kus a je možné ho opravit obráběním.



Obr. 31 Přehřátí [41]

Dalším průvodním jevem ohřevu je oxidace a oduhličení oceli, což vede ke snížení pevnosti a povrchové tvrdosti. Oxidace (obr. 32) je nepříznivým jevem ohřátí oceli na kovací teplotu. Působením pecní atmosféry, která obsahuje okysličující plyny, vzniká na povrchu ohřívaného kusu vrstva okují. Obecně ovlivňuje rozměry a jakost povrchu, protože může dojít k zakování a také způsobují značné ztráty na hmotnosti, celkem se okujemi znehodnotí až 4% oceli. Působením kyslíku, oxidu uhličitého a vodní páry v pecní atmosféře se vytvářejí na povrchu výkovku tři oxidy a to FeO , Fe_3O_4 a Fe_2O_3 . Jejich existence a tloušťka závisí na teplotě a celková tloušťka na době oxidace, jedná se také o difúzní pochod.

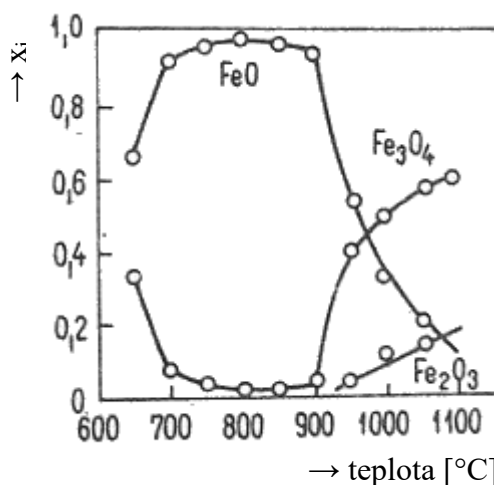


Obr. 32 Okuje na prstenci [42]

Množství vytvořených okují není u všech ocelí stejné, poněvadž na rychlost oxidace působí jejich chemické složení a rovněž některé další prvky jako hliník nebo křemík, chrom, mangan a titan snižují rychlost oxidace.

Posledním jevem je rychlost růstu okují, jež je značně závislá na teplotě ohřevu. Do teploty 570°C je přírůstek velmi malý, teprve za vyšších teplot rostou velmi rychle. Při příliš vysokých teplotách ohřevu kolem 1300°C dochází kromě rovnoměrné tvorby zoxidované vrstvy na povrchu oceli ještě k velmi rychlému pronikání kyslíku po hranicích austenitického zrna do středu výkovku.

Rychlost růstu oxidační vrstvy během celé doby ohřevu není konstantní a většinou se zpomaluje, viz obr. 33.



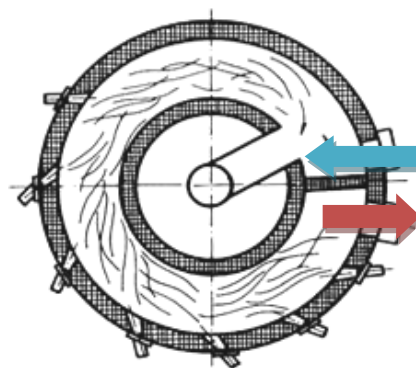
Obr. 33 Podíl složek okují v závislosti na teplotě [3]

2.2.1 Druhy pecí a ohřevů [hase], [elf], [pec], [kps]

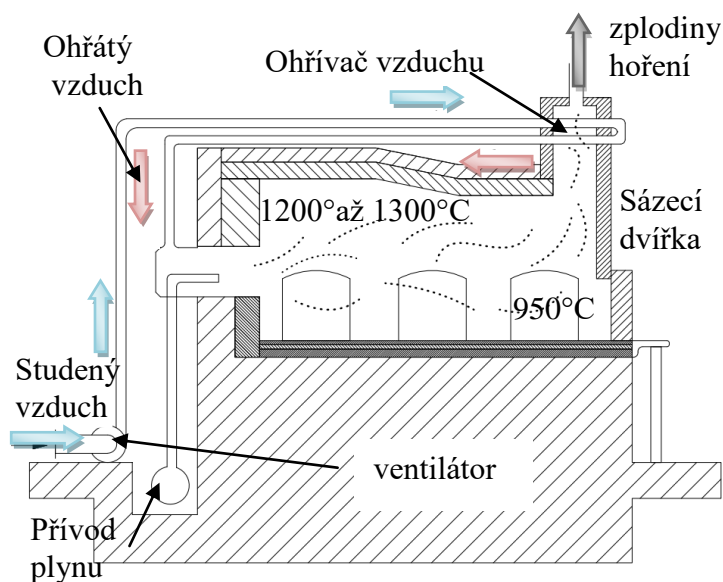
Polotovary lze ohřívat podle jeho velikosti v několika zařízeních, které mají různé druhy ohřevu.

Z hlediska pohonu pece lze rozdělit ohřívací zařízení na:

- ☞ Karuselové - jedná se o průchozí pec s nístějí ve tvaru mezikruží (obr. 34) a lze jich použít pro ohřev poměrně širokého sortimentu materiálu, lišícího se nejen rozměrem, ale i tvarem. Nístěj se může pohybovat nepřetržitě s proměnnými otáčkami, čímž se mění rychlost průchodu materiálu. Případně je pohyb nepřetržitý s konstantní rychlostí otáčení a průchod materiálu se řídí vypnutím a zapnutím zařízení. Zakládací a vyjímací dveře jsou umístěny na vnější stěně v těsné blízkosti.
- ☞ Komorové - je jednou z nejrozšířenějších druhů ohřívacích zařízení (obr. 35). Existují v mnoha provedeních a liší se tvarem pracovního prostoru, počtem dveří a v umístění hořáku. Hořáky jsou polohovány buď v bočních stěnách nebo v klenbě a pracují s cirkulací spalin. Umožňují dobré řízení tepelného režimu a mohou být opatřeny zařízením na využití odpadního tepla ve spalinách (rekuperátor, popř. kotel).
- ☞ Strkácké - podobně jako karuselová pec je průchozí a slouží pro ohřev zápusťkových výkovků ve větších sériích.
- ☞ Štěrbínové - slouží pro ohřev konců tyčí nebo trubek většinou pro vodorovné kovací lisny. Materiál je zakládán na stůl a do ohřívacího prostoru zasahuje pouze krajní část. Podle způsobu provozu lze dále rozlišovat na pece s otevřenou štěrbinou nebo průchozí.



Obr. 34 Pohled shora na karusel. pec [34]



Obr. 35 Schéma komorové pece [34]

Existuje několik variant ohřevu a lze je rozdělit vzhledem k vývinu tepla na:

- Indukční - zde vzniká teplo účinkem indukovaných vířivých proudů přímo v ohřívaném předmětu na základě jeho ohmického odporu. Jedná se o jednu z nejvíce využívaných metod, protože dochází k dokonalému prohrátí materiálu na přesnou teplotu a ke zmírnění oduhličení a oxidaci materiálu. Jejich velká nevýhoda je však vysoká pořizovací cena.
- Plynový - vzniká na základě spalování přiváděného plynného media, jenž je přiváděn do spalovací komory.
- Přímý odporový - jedná se o ohřev přímým průchodem proudu, který je zaváděn do vsázky speciálními elektrodami chlazenými vodou.
- Nepřímý odporový - poslední typ, který není často využíván kvůli dlouhé době ohřevu a značného výskytu okujů.

2.3 Pěchování [fo] [has]

Tvar předkovku je získán pěchováním (obr. 36) a děrováním. Při pěchování dochází ke zmenšování výšky polotovaru a zvětšování jeho příčného průřezu. Radí se do oblasti objemového tváření a je používáno především při kování kotoučů a rotačních předmětů s poměrně nízkou výškou. Kromě zmíněných důvodů slouží také pro:

- Přípravu předkovku nebo ke zvětšení příčných rozměrů pro budoucí prodlužování, kvůli většímu stupni prokování.
- Získání děrovaných předkovků pro následující kování na trnu do délky nebo do průměru.

Při pěchování dochází k průvodnímu jevu zvanému soudečkovitost, který svědčí o nerovnoměrné deformaci, která vzniká v objemu výkovku. Pokud jsou kovány součásti větších rozměrů, zejména z legovaných ocelí, je doporučeno před pěchováním součásti okovat. Tím se zamezí vzniku povrchových trhlin od tahových napětí, jež se vytvořily pěchováním ve vrstvě sloupkovitých krystalů.

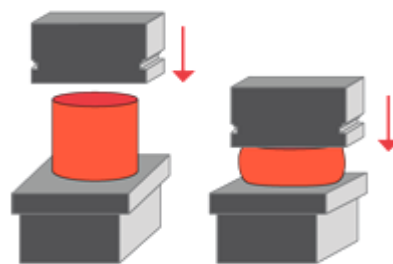
Během pěchování musí být dodržena podmínka, která definuje poměr výšky a průměru. Výška by neměla být větší než 2,5 – 3 násobek průměru, protože hrozí ztráta vzpěrné stability, což vede ke zborcení materiálu a dokonce až ke vzniku nežádoucích přeložek.

Pěchování lze provádět mezi rovnými deskami (obr. 37a), jestliže se vychází z useknutého nebo uříznutého kusu. Pokud se bude s předkovkem nadále zacházet, má manipulační čep a ve spodní desce musí být vybrání (obr. 37b).

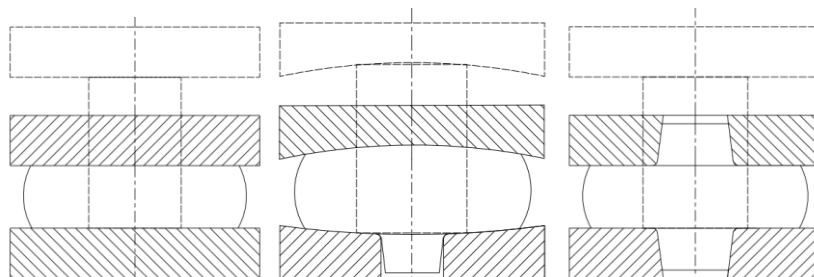
Kovací desky jsou také vyduté, což usnadní tok materiálu v ose výkovku, ale za cenu většího pěchovacího odporu. Poslední typ desek (obr. 37c) slouží ke zhotovení výkovků s nábojem a jinými výčnělky. Kvůli stékavosti materiálu jsou desky opatřeny úkosem 5 – 7 ° a vnější průměr desek je stejný jako u výkovku ($D=d$).

K samotnému pěchování je z teoretické stránky nutné přistupovat jako k ideálnímu procesu s jednoosou napjatostí, i když ve skutečnosti se jedná o prostorovou. Pro výpočet pěchovací síly je nutné znát deformační odpory a průběhy napětí. Touto problematikou se zabývají přístupy řešení podle Siebela a Unksova.

Jedná se o volné pěchování mezi rovnoběžnými rovinami. Rovinná úloha ve válcových souřadnicích (obr.38) znázorňuje pěchování válcového tělesa, kdy $\varnothing d > h$ a je



Obr. 36 Pěchování válce

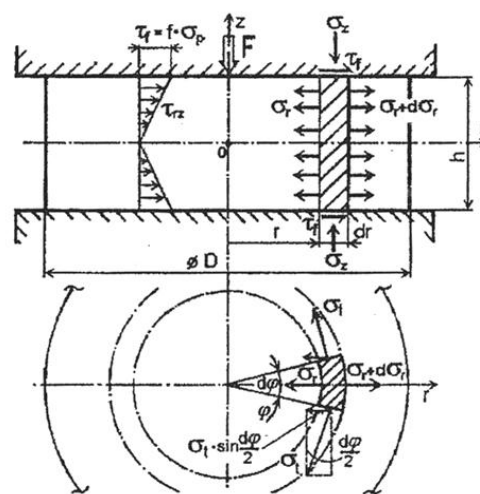


a) rovné desky

b) vyduté desky

c) pěchování s
vytlačáním

Obr. 37 Druhy pěchování [6]



Obr. 38 Rozložení napětí při pěchování válcového vzorku [4]

předpokládán rovnoměrný tok materiálu.

Pro pěchování rotačně symetrického vzorku mezi rovnoběžnými je vycházeno z rovnice:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\tau_f}{h} = 0 \quad (2.6)$$

kde: σ_r - je napětí v radiálním směru [MPa]

r - je poloměr [mm]

τ_f - je třecí smykové napětí [MPa]

h - je vztažná výška vzorku [mm]

Válcové těleso je plasticky přetvářeno v celém objemu a na stykových plochách musí být splněná podmínka plasticity τ_{\max} :

$$\sigma_p = \sigma_z - \sigma_r \quad (2.7)$$

kde: σ_z - je napětí ve směru osy 'z' [MPa]

Po derivaci podle souřadnice poloměru lze získat obdobnou rovnici se zaměněnými neznámými:

$$\frac{d\sigma_z}{dr} + \frac{2\tau_f}{h} = 0 \quad (2.8)$$

2.3.1 Řešení podle Siebela [1], [4]

Řešení napětí podle Siebela vychází z integrace rovnice (2.6) a za předpokladu, že smykové kontaktní napětí se řídí podle Coulombova zákona:

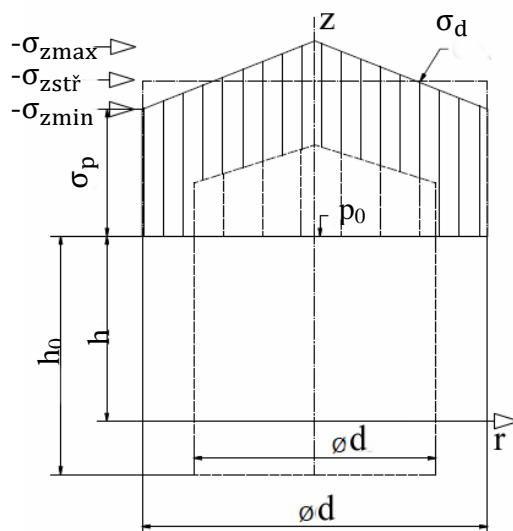
$$\tau_f = f \cdot \sigma_z = -f \cdot \sigma_p \quad [\text{MPa}] \quad (2.9)$$

kde: f - součinitel tření [-]

Normálové napětí, v tomto případě ' σ_z ', se po celé výšce vzorku nemění – je konstantní. Proměnné jsou zde přetvárné odpory a tvářecí tlak. Na obrázku 39 je znázorněno rozložení napětí podle Siebela. Pomocí podmínky plasticity (2. 7) a úprav lze získat finální Siebelův vztah pro výpočet deformačního odporu σ_d při pěchování:

$$\sigma_d = -\sigma_{zs} = \sigma_p \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{f \cdot d}{h} \right) [\text{MPa}] \quad (2.10)$$

kde: σ_{zs} - je střední osová napětí [MPa]



Obr. 39 Rozložení osového napětí při pěchování podle Siebela[4]

2.3.2 Řešení podle Unksova [1], [4]

Přístup řešení podle Unksova vychází ze smykových kontaktních napětí mezi kovádkem a vzorkem, které nejsou konstantní. Pomocí Coulombova vztahu (2.9) a rovnice (2.8) bude diferenciální rovnice ve tvaru:

$$\frac{d\sigma_z}{dr} + \frac{2 \cdot f \cdot \sigma_z}{h} = 0 \quad (2.11)$$

Na obrázku 40 jsou znázorněny průběhy napětí a tři základní pásma Existence pásem je závislá na okamžitých poměrech délky nebo průměru vzorku a jeho výšky a samozřejmě na vnějším tření.

Z obrázku 31 lze tedy rozlišit:

- Pásmo kluzu I – leží v intervalu $r \in < r_B; \frac{d}{2} >$ a vyznačuje se postupným nárůstem napětí. Po úpravě a integraci rovnice (2.11) vznikne konečné řešení pro pásmo kluzu ve tvaru exponenciální funkce:

$$\sigma_{zI} = -\sigma_p \cdot e^{\frac{2 \cdot f}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right)} \quad (2.12)$$

- Pásmo zbrzdění II – leží v intervalu $r \in < r_C; r_B >$, zde smykové napětí dosahuje nejvyšší možné hodnoty.

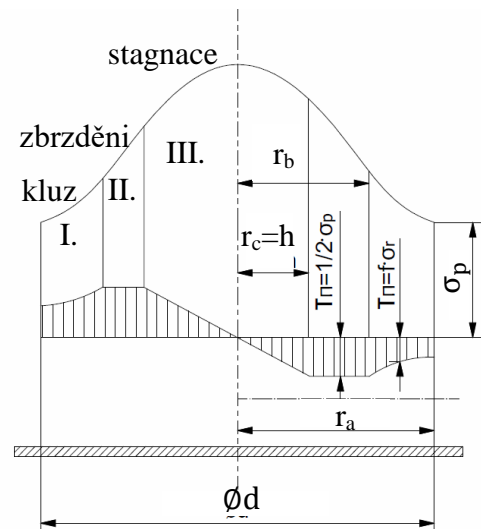
Opětovnou úpravou rovnice (2.8) a za použití Coulombova zákona (2.9) vznikne vztah:

$$\sigma_{zII} = -\sigma_p \cdot \frac{1}{2 \cdot f} \left[1 + \frac{2 \cdot f}{h} \cdot (r_B - r) \right] \quad (2.13)$$

- Pásmo stagnace III – leží v intervalu $r \in < 0; r_C >$. Také nazýváno jako pásmo ulpívání nebo přilnutí, protože materiál přilne na kovadle. V rovině symetrie (nulový bod rozběhu) mění smykové napětí své znaménko. Řešení pro pásmo III vznikne opět pomocí rovnice (2.8) a po dosazení okrajových podmínek lze získat výsledné řešení ve tvaru paraboly:

$$\sigma_{zIII} = \sigma_c - f \cdot \sigma_p \left[1 - \left(\frac{r}{h} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

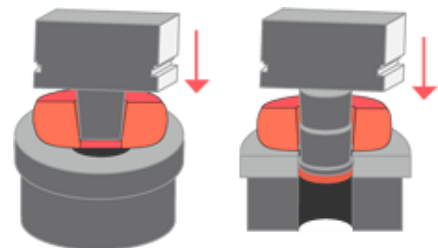
kde: σ_c – je hodnota napětí v bodě 'C' [MPa]



Obr. 40 Rozložení osového napětí [4]

2.4 Děrování [has]

Tato operace slouží k vytvoření otvoru u polotovarů. Jedná-li se o nízké desky a menší díry, je možné děrovat přímo na podložce s otvorem (obr. 41). Pokud jsou děrovány větší otvory (asi do průměru 400 mm) a ve vyšších polotovarech je nutné uskutečnit proces plným trnem, viz obr. 42a). Ten je mírně kuželovitý a je vtlačován pomocí příložek přibližně do dvou třetin výšky materiálu. Průměr trnu by neměl překročit více než jednu třetinu vnějšího průměru předkovku.



Obr. 41 Děrování předkovku [30]

Vtlačováním děrovacího trnu do materiálu je porušován jeho původní tvar. Zbytek materiálu na dně otvoru (blána) je asi jedna třetina původní výšky. Ta se prorazí po obrácení materiálu o 180° širší stranou průbojníku. Ztráta materiálu při této operaci se dá určit ze vzorce:

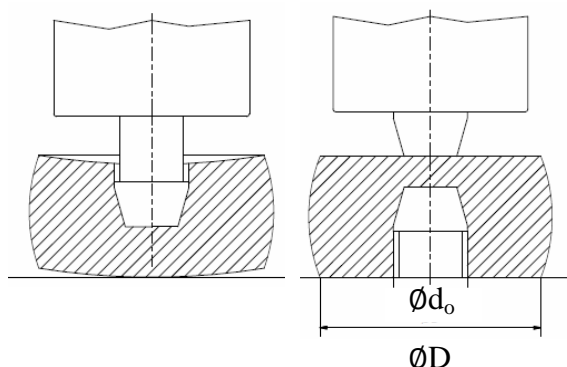
$$V = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot (0,2 - 0,3H) \quad (2.15)$$

kde: V – objem ztrátového materiálu [mm³]

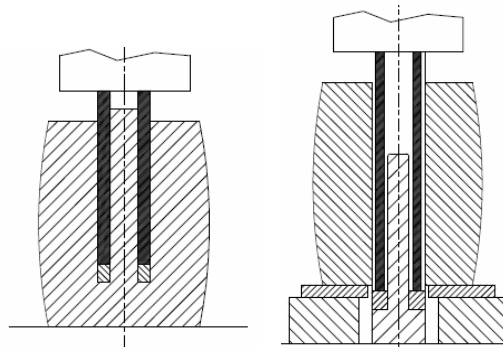
d_o – je průměr otvoru [mm]

H – výška předkovku [mm]

Velké otvory (větší než průměr 300-500 mm) jsou děrovány dutým trnem, viz obr. 42b). Není zde nutné použití tak velkých sil jako u plného, nedojde k porušení původního tvaru a je odstraněna středová část obsahující vady. Ztráta materiálu je zde poměrně větší a lze ji určit z rozměrů děrovacího trnu.



Obr. 42 a) Proces s plným trnem [6]



Obr. 42 b) Proces s dutým trnem [6]

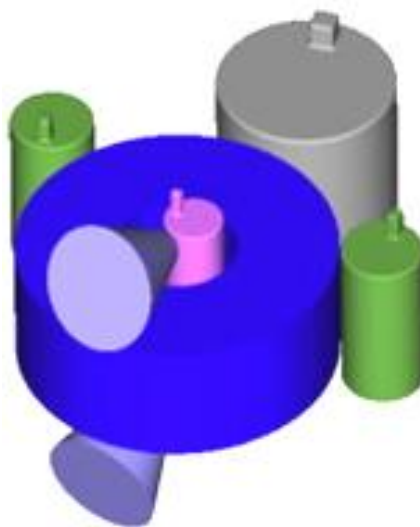
2.5 Válcování [10], [[31], [36]

Proces válcování začíná nasazením proděravěného a ohřátého předvalku a spuštěním stroje (obr. 43). Předkovek je snížena válcovací silou, jež je vyvozena tlakem kapaliny, přitlačován prostřednictvím trnu na otáčející se radiální válec a horní kuželový válec zaujímá přidržovací polohu. Nadále je zahájeno se radiální válcovací silou, která zajistí tváření v tomto směru.

Poté dochází za postupného zvyšování válcovací síly ke srovnání všech nepravidelností tloušťky stěny materiálu. Jakmile dojde k ustálení procesu odměrná kladka s čidlem je posunuta směrem vpřed a dochází k jejímu dosednutí na vnější plášť rozvalku. Během celého zbývajících procesu je dotlačována pneumatickým válcem, přičemž čidlo slouží k zajištění synchronizace radiální a axiální válcovací rychlosti.

V této fázi dochází k nárůstu radiální síly na maximum a začíná hlavní redukce průměru. Po dosednutí odměrné kladky na rozvalek začne pracovat řídicí jednotka. Podle alternativního řízení odsunu axiální stolice čeká odměrná kladka v předvolené počáteční poloze na rozválcovaný předkovek. Jakmile poprvé odsune čekající odměrnou kladku směrem dozadu, řídicí jednotka je uvedena do činnosti. U obou uvedených alternativ provádí výpočty správné polohy axiální stolice na základě údajů čidla a dává pokyny k jejímu odsunu takovou rychlostí, aby se vrcholy kuželových válců do vnějšího průměru kruhu nacházely stále v ose kruhu.

Po skončení případně v průběhu první fáze jsou přisunuty středící kladky z počáteční polohy na rozvalek a začnou jej přitlačovat navolenou silou. Ty jsou v procesu postupným zvětšováním průměru nuceně rozevírány.



Obr. 43 Schéma počáteční fáze válcování kruhu [31]

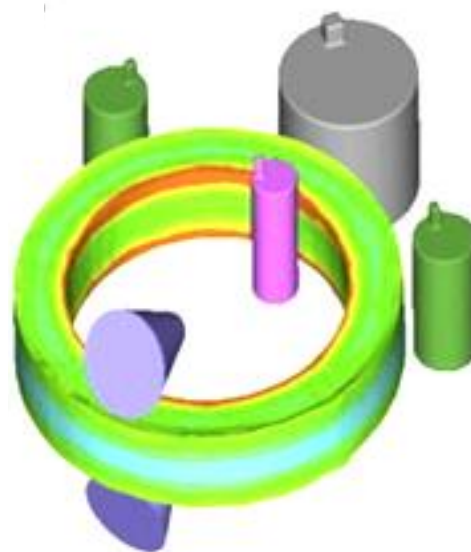
Následně je zahájeno axiální redukce postupným navýšením válcovací síly. Tímto impulsem sjede horní kuželový válec na tvářený materiál a začne na něj působit požadovanou silou. Jakmile dosáhne horní kuželový válec požadované hodnoty výšku kruhu, dojde k uzamknutí hydraulického systému, který drží tuto stanovenou hodnotu síly. Jmenovitá poloha je kontrolována systémem polohové regulace, který dává signál k případné korekci, dojde-li k odchylce od této hodnoty.

V závěru samotného intenzivního radiálního válcování, od tzv. redukčního bodu, dochází ke snižování radiální válcovací síly.

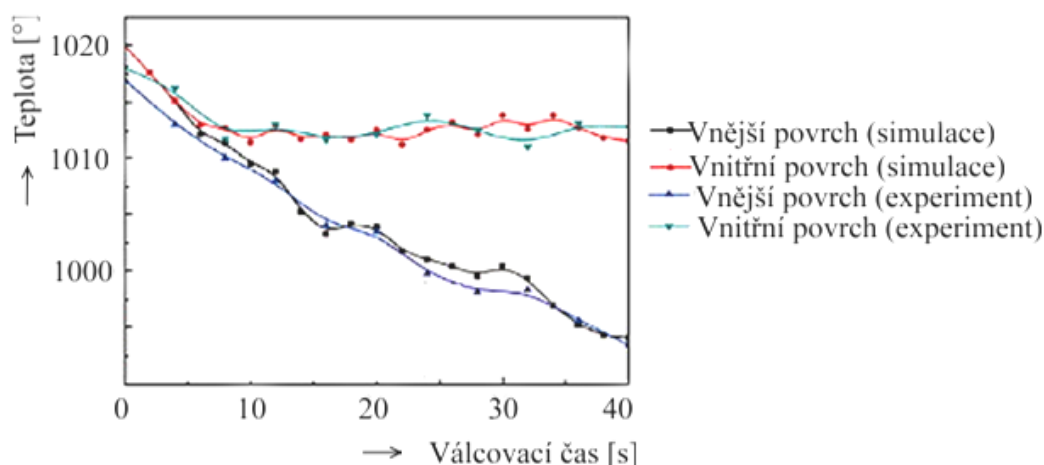
V závěrečné fázi radiálního válcování, končící kalibrováním kruhu (obr. 44), se dále snižuje radiální válcovací síla a kalibrováním se při minimální nebo nulovém radiálním úběru upravuje konečná kruhovitost vývalku. Impulzy pro tuto signalizaci jsou vzaty od čidla měřící pomocí odměrné kladky. Řízení odsunu axiální stolice během válcování probíhá bez zásahu obsluhy.

Následně po ukončení cyklu se rozevře mechanismus stroje do výchozí polohy a válcovačka je připravena k vyjmutí hotového vývalku ze stroje a nasazení nového předkovku na válcovací trn.

Během procesu dochází k poklesu teploty tvářeného dílce. Na obrázku 45 je znázorněn vývoj teploty v závislosti na tvářecím čase. Tento obrázek byl převzat z vědeckého časopisu Science Direct a autor zde porovnává vnitřní a vnější povrch kruhu simulací a vypočtené hodnoty ověřuje experimentem.



Obr. 44 Závěrečné kalibrování kruhu [31]



Obr. 45 Diagram vývoje teploty v tvářecím procesu [10]

2.6 Technologičnost [9], [45]

Jako u každé jiné technologie je nutné dbát opatrnosti a vyhnout se problémům, které mohou nastat nesprávnou přípravou polotovaru nebo nevhodným špatným nastavením samotné tvářecí operace. Obezřetností je možné předejít vzniku neshodných kusů, které stojí firmu čas a finance.

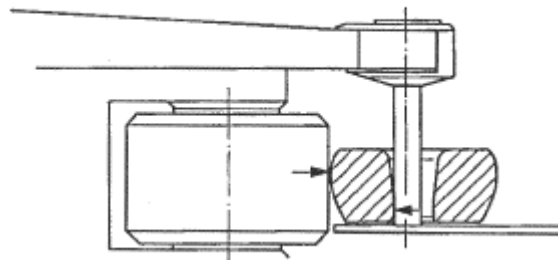
Faktory, které ovlivňují kvalitu a kruhovitost výrobku je nutné sledovat již od začátku vstupu materiálu do technologického procesu. Chybným napěchováním materiálu nedojde k rovnoměrnému srovnání čel předkovku, což při samotném procesu může zavinit vznik přeložek.

Kvalitu zhotoveného kruhu lze snížit rovněž nepřesným děrováním otvorů pro trn mimo určený střed popř. nerovnoměrností otvoru po prostřížení. Uvedené nedostatky vedou k nežádoucímu bodovému opotřebení jak je znázorněno šipkami na obrázku 46.

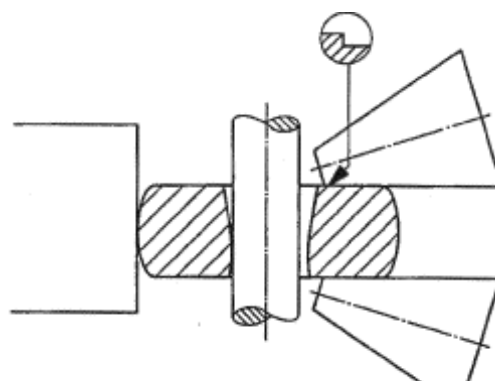
Během válcování, přesněji při zapojení axiálních kladek v nesprávné pozici může dojít ke vzniku "zubu" (obr. 47), což zapříčiní obvodovou vadu, kterou lze v určité míře obrobit a tím eliminovat neshodné kusy. To je možné pouze v tom případě, že má výkovek dostatečné výškové tolerance.

Další nedostatky mohou být zapříčiněny šplháním předkovku v radiálním směru, jež způsobuje:

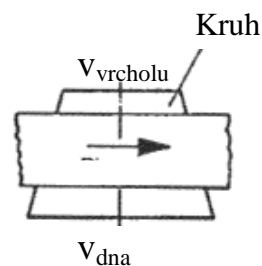
- Rozdílný průměr, který je způsoben opotřebovaným trnem, jež prstenec konkávně tvaruje (obr. 48) a vzniká tak rozdílná obvodová rychlost na horní a spodní ploše.
- Nesprávné nastavení stolu, který není ve vodorovné poloze a dochází k vyosení oproti ose trnu a tím pádem k asymetrickému tváření a porušení kruhovitosti (Obr. 49).
- Špatné nastavení středících kladek a s tím spojené různé působící síly (obr. 50), které při procesu středí kruh a dochází k tvorbě ovality a nesymetrického tvaru
- Nesymetrický průřez, při kterém dochází k nerovnoměrnému axiálnímu i radiálnímu válcování (obr. 51)
- Rozdílný poměr výšky případně stupně deformace



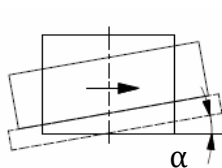
Obr. 46 Špatně proděrovaný otvor [9]



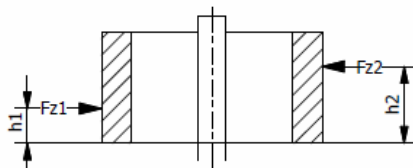
Obr. 47 Problém, při RA válcování [9]



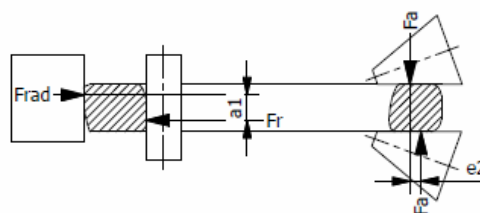
Obr. 48 Rozdílné rychlosti [9]



Obr. 49 Šikmý stůl [9]



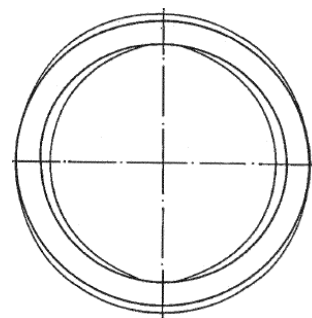
Obr. 50 Vyosené středící kladky [9]



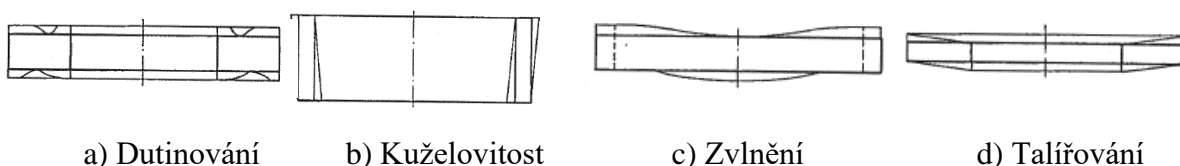
Obr. 51 Vznik nerovnoměrného průřezu [9]

Kromě šplhání dochází při tváření také k vybočení vzniklých momentů a vzniká tak nežádoucí ovalita a nepravidelná kruhovitost. Přesunutí momentových působišť je způsobeno například středícími kladkami nebo třením od stolu.

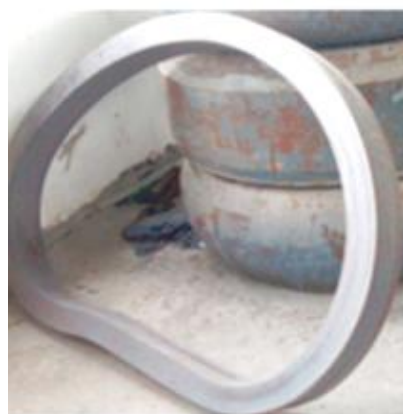
Dalším úskalím jsou tvarové defekty, které jsou vytvářeny kombinací a kumulací předešlých chyb během celého procesu výroby. Nejčastější se vyskytuje ovalita (obr. 52), která je většinou kontrolována ručně posuvným měřidlem. Poněkud vzácnější defekty jsou znázorněny na obrázku 53, jedná se o dutinování, kuželovitost, zvlnění a talířování. Neshodný kus z praxe lze pozorovat na obrázku 54.



Obr. 52 Ovalita [9]



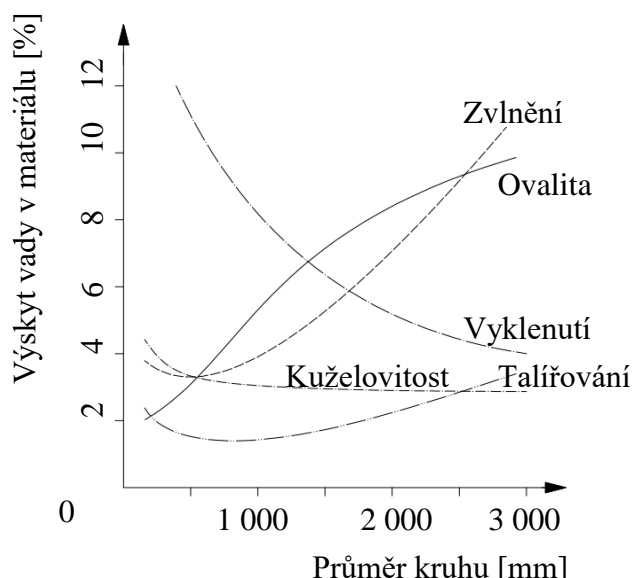
Obr. 53 Tvarové defekty při radiálně axiálním válcování [9]



Obr. 54 Neshodný kus z praxe [45]

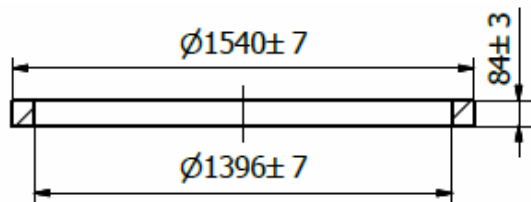
Výskyt defektů v závislosti na velikosti průměru kruhu, lze pozorovat z obr. 56. Se zvyšujícím se průměrem převládají vady ve formě talířování a zvlnění. Kuželovitost má téměř konstantní charakter a se vzrůstající velikostí průměru se také zvětšuje pravděpodobnost výskytu ovality.

Obr. 55 Diagram závislosti vzniku trhliny na velikosti průměru [9]



3 NÁVRH VÝROBY [23], [32]

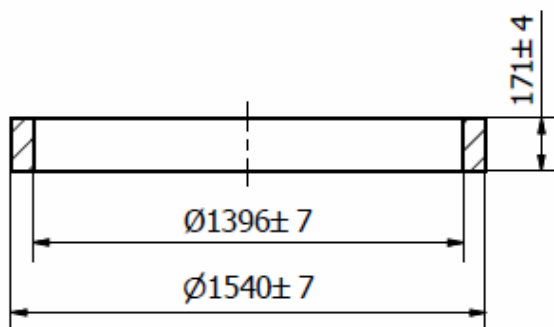
Jedná se o bezešvý kruh z materiálu 42CrMo4, který slouží jako otoč u kabiny bagru. Vzhledem ke zvolené technologii radiálně axiálního válcování je nutné výkres součásti obohatit o technologické přídavky i tolerance a vytvořit výkres výkovku, který je zobrazen na obrázku 56. Výšku vývalku je nutné vyrobit v intervalu od 81 do 87 mm, vnější i vnitřní průměr s úchytkou ± 7 mm. Jelikož se jedná o poměrně vzácnou technologii, tak přídavky jsou primárně voleny na základě firemních zkušeností a orientačně z tabulky, která je uvedena v příloze číslo 4



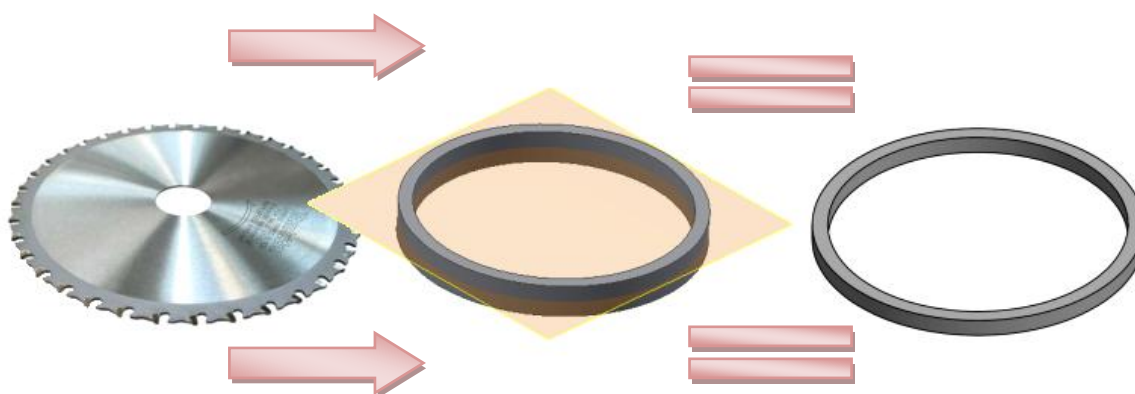
Obr. 56 Rozměry výkovku

Z hlediska technologičnosti musí vývalek splňovat několik kritérií, které ovlivňují vyrobitelnost. Důležité je dodržení tvaru otvoru po děrování, aby bylo možné předkovek nasadit na trn válcovačky. Kromě otvoru v předkovku, je nutné hlídat výšku kruhu, která je poměrně nízká a hrozí zde vznik vady ve formě talířování a zvlnění, což je zcela nežádoucí.

Kvůli eliminaci vzniku vad a efektivnosti výroby byl upraven výkres výkovku na dvojkus s výškou 171 ± 4 mm (obr. 57), viz výkres DP-02-A4. Rozměry průměrů a tolerance byly ponechány, takto upravený kruh bude po vyválnování příčně rozřezán na dva kusy (obr. 58) o výšce 84 ± 3 mm a obroben do finálního stavu. Tato technologická změna má kladný dopad na cenu vývalku a také na časovou náročnost.



Obr. 57 Nový výkres výkovku ve variantě dvojkusů [32]



Obr. 58 Naznačení příčného řezu [23]

Součást bude vyráběna v sérii 32 kusů ve formě dvojkusů. Součástí práce bude také zjištění, proč se na vývalku koncem roku 2016 až do dubna 2017 vyskytovaly přeložky. Změnou parametrů a přidáním mezioperačního pýchování bude snaha eliminovat neshodné kusy s přeložkami.

3.1 Stroj RAW 100 (125)/100 (125) [9], [32]

V roce 2010 byla uvedena do provozu nová radiálně axiální válcovačka značena RAW 100/125 od společnosti SMS MEER. Značení stroje určuje jeho maximální válcovací síly v tunách. Na obrázku 59 je znázorněn stroj RAW, který zajišťuje výrobu kruhů s průměrem až 2500 mm, výškou 400 mm a hmotností až do 1000kg. Podrobnější popis je uveden v příloze číslo 5.

Společnost SMS MEER imponuje s více než 80-ti letou zkušeností v oblasti válcování. V současné době dodává stroje pro výrobu prstenců, kol a investuje do technologií přesnosti a nejvyšší kvality. Kromě zmíněné technologie se firma zabývá válcováním za studena, výrobou trubek a odléváním.



Obr. 59 Stroj RAW 100/125 pro radiálně axiální válcování umístěný v hale firmy Triangolo

Na obrázcích 60 a 61 jsou znázorněny detailní pohledy na nástroje, jenž provádějí tváření v obou hlavních směrech



Obr. 60 Detail axiálních kuželů stroje RAW Obr. 61 Detail hlavního válce stroje RAW

Nejdůležitější hodnoty pro volbu stroje jsou válcovací síly a tlaky, které omezují rozměry a hmotnost vyráběných bezešvých kroužků. V tabulce 3 je možné rozpoznat maximální přípustné hodnoty válcovacích sil a tlaků.

Tab. 3 Maximální dovolené hodnoty zatížení stroje RAW [32]

	Nominální tlak [bar]	Maximální tlak [bar]	reserva výkonu [%]	Maximální možná síla pro běžné tlaky [kN]	Maximální použitelná síla pro vysoké tlaky [kN]
Radiální část	260	325	10	1000	1250
Axiální část	260	320	5	1000	1250

Variabilita výrobků je také limitována výkonem válců a efektivitou. V tabulce 4 jsou znázorněny další hodnoty spojené s výkonem stroje. V tabulce 5 a 6 jsou uvedeny maximální a minimální tvarové rozměry, které je stroj schopen použít.

Tab. 4 Technické parametry stroje RAW [32]

	Hlavní válcovací motor	Motor horního axiálního válce	Motor spodního axiálního válce
Jmenovitý výkon [kW]	250	200	200
Efektivita [%]	96	96	96
Jmenovitá rotace [min⁻¹]	1480	3000	3000
Převodový poměr [-]	53,42	20,587	20,587
Jmenovitý točivý moment [kNm]	85,169	18,288	18,288

Tab. 5 Rozměry kuželových válců [32]

Axiální válec					
	Minimální	Maximální		Minimální	Maximální
Průměr špičky [mm]	0	500	Úhel sklonu [°]	35	35
Délka kužele [mm]	500	650	Délka válcové části [mm]	0	100

Tab. 6 Rozměry tvářecího válce a trnu [32]

Hlavní válec		Trn	
Maximální průměr [mm]	Maximální výška [mm]	Minimální průměr [mm]	Maximální průměr [mm]
850	450	80	200

Provedení středicí kladky je ve formě laseru a rozměry středících kladek a podrobnější parametry stroje jsou uvedeny v příloze číslo 6.

3.2 Postup výroby [7], [8],[17], [31], [34], [46], [47], [39]

Vše začíná skladem hutního materiálu. Válcované tyče a kontislitky s řádným materiálovým označením jsou skladovány před firmou na kovových stojanech (obr. 62). Pomocí manipulátoru jsou tyče dopravovány do předskladu přímo v budově.



Obr. 62 Sklad materiálů polotovarů pro výrobu vývalku

Nejprve je nutné polotovar nadělit na špalíky, vzhledem k rozměrům materiálu jsou využívány pily pásové (obr. 63) nebo kotoučové (obr. 64), které při běžném procesu pracují současně z hlediska zvýšení efektivity výroby.



Obr. 63 Pásová pila značky Behringer



Obr. 64 Kotoučová pila

Po nařezání polotovaru na špalíky o požadovaných rozměrech dochází k převozu materiálu na pás. Takto připravený materiál tvoří frontu na vsazení do karuselové pece (obr. 65), přičemž nejdříve dochází ke skluzu z dopravníku a za pomoci manipulačního vozíku s obsluhou je dopraven do pece.



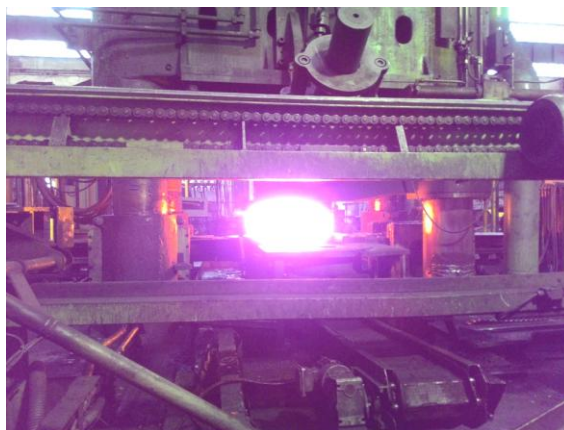
Obr. 65 Materiál čekající na postupné založení do karuselové pece

V peci dochází k ohřevu na teplotu 800°C po dobu dvou hodin. Při kontinuálním ohřevu se dostane špalík do oblasti s teplotou 1150°C a zde dochází k nahřátí na kovací teplotu a dvouhodinové výdrž.

Po ohřátí na požadovanou teplotu se přemístí polotovar pomocí manipulátoru na stůl stroje CZK 1800, kde dojde nejdříve k předpěchování, následně k předděrování a výsledný zdvih proděruje předkovek (obr. 66). Po této fázi je předkovek vkládán do dalšího pěchovacího lisu, který dokáže při mírném zdvihu srovnat plochy předkovku.

Jelikož při manipulaci a při přípravných tvářecích operacích předkovek chladne, je nutné ho dohřát, protože hrozí riziko příliš nízké teploty, které by mělo fatální důsledky při válcování na radiálně axiální válcovačce.

Je tedy nutné po této operaci předkovek ohřát na válcovací teplotu, která je stanovena z materiálového listu oceli 42CrMo42 na hodnotu 1150°C . To se děje zakládáním do komorových pecí (obr. 67) za pomoci vysokozdvížného vozíku se speciálním nástrojem (obr 68).



Obr. 66 Lis CZK 1800 v při pěchování



Obr. 67 Zakládání do komorové pece



Obr. 68 Manipulační vozík s předkovkem

Po dosažení požadované válcovací teploty se může přikročit k finálnímu válcování na radiálně axiální válcovačce. Vše začíná přípravou a montáží předepsaných nástrojů podle technologického postupu. Je nutné navolit správné axiální válce (obr. 69), které budou mít dostatečně dlouhé kuželové plochy, aby nedocházelo ke vzniku zubu.



Obr. 69 Zkosené kužele válce

Kromě axiálních válců je nutné zvolit správný trn, který se řídí vyděrovaným otvorem v předkovku. Na obrázku 70 je možné vidět stojan s různými velikostmi trnů. Dále je nutné navolit správný průměr hlavního válce. Jelikož jsou vyráběny hladké kruhy, jeho povrch musí být naprosto hladký, konkrétní ukázka je znázorněna na obrázku 71. Tvarová zápustka válce je znázorněna v příloze 7.



Obr. 70 Ukázka skladování nářadí



Obr. 71 Hladký tvářecí válec

Dále je k procesu nutné zvolit vhodné desky, které jsou připevněny na stůl radiální válcovačky. Tyto desky jsou znázorněny na obrázku 72.



Obr. 72 Pracovní desky připraveny na montáž ke stolu radiálně axiální válcovačky

Samotné válcování začíná položením předkovku na poháněný stůl a zajištěním trnu do otvoru předkovku, což je znázorněno na obrázku 73.



Obr. 73 Materiál čekající na postupné založení do karuselové pece

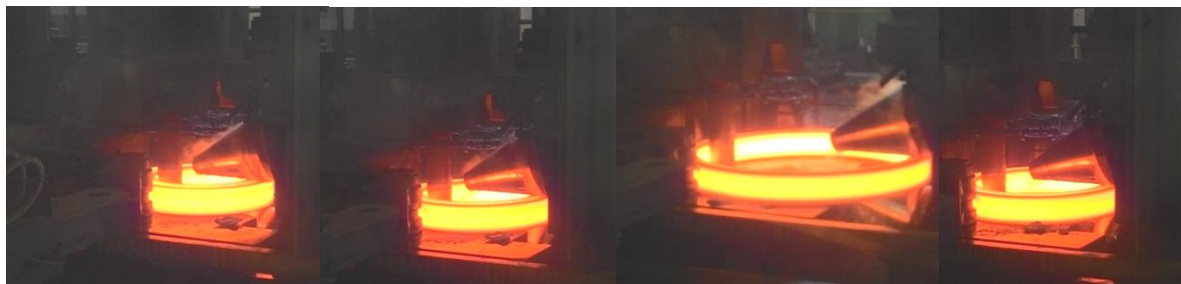
Po ustavení a upevnění trnu se roztočí tvářecí válec a trn je na něj postupnou radiální silou přitlačován a dochází k radiální redukci. Poté se začne postupně přibližovat axiální stolice s kuželovými válci dokud, se nenachází v ose kruhu. Z obrázku 74 je také patrné, že plocha předkovku je pokryta poměrně značným množstvím okují. Tato zoxidovaná místa lze očistit mechanicky nebo proudem vody, který kromě této funkce také chladí velmi teplotně namáhané tvářecí nástroje.



Obr. 74 Odstranění okují a počátek válcování

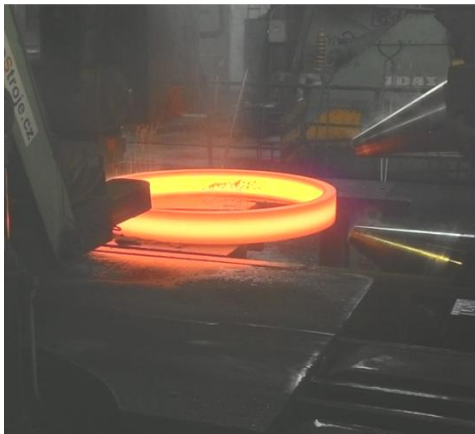
Po dosažení nejvyšší válcovací rychlosti dochází k válcování kroužku a zvětšování jeho rozměrů s pomocí postupného odsunu axiální stolice (obr. 75). Ve firmě je odměrná kladka instalována ve formě paprsku laseru, který hlídá hodnoty ovality a rychlostí růstu rozměrů součástí.

V konečné fázi se už samotné rozměry kruhu nemění, dochází pouze ke kalibraci za snížené válcovací síly.



Obr. 75 Postup radiálně axiálního válcování

Vyrobený prstenec (obr. 76) je následně podle požadavků zákazníka oražen pořadovým číslem. Poté přijede manipulátor obsluhovaný z operační kabiny a přesune žhavý vývalek na pásový dopravník (obr. 77), na jehož konci je přesunut portálovým jeřábem pomocí kleští na skladovací místo. Skladovací rošt musí být poměrně hustý, aby nedocházelo ke zbytečnému průhybu a zatěžování kruhu při jeho chladnutí.



Obr. 76 Konec válcování

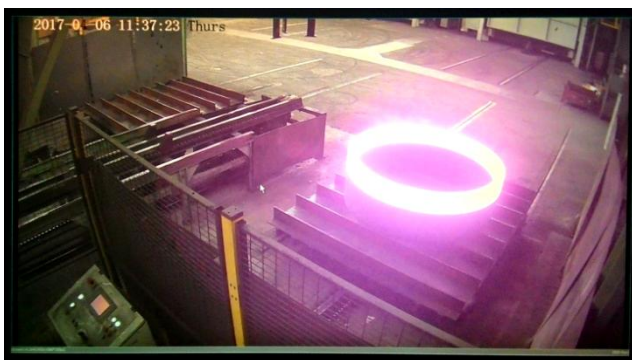


Obr. 77 Manipulace s výkovkem

Pracoviště, ze kterého je řízen stroj RAW (radiálně axiální válcovačka), je obohaceno o dva řídicí panely, na kterých je možné sledovat průběh nařezaného špalíku až po finální odložení žhavého vývalku na rošt (obr. 78).

Nejdůležitějším panelem je však pracovní stůl, na němž lze sledovat a kontrolovat celý proces válcování s několika důležitými parametry (obr. 79).

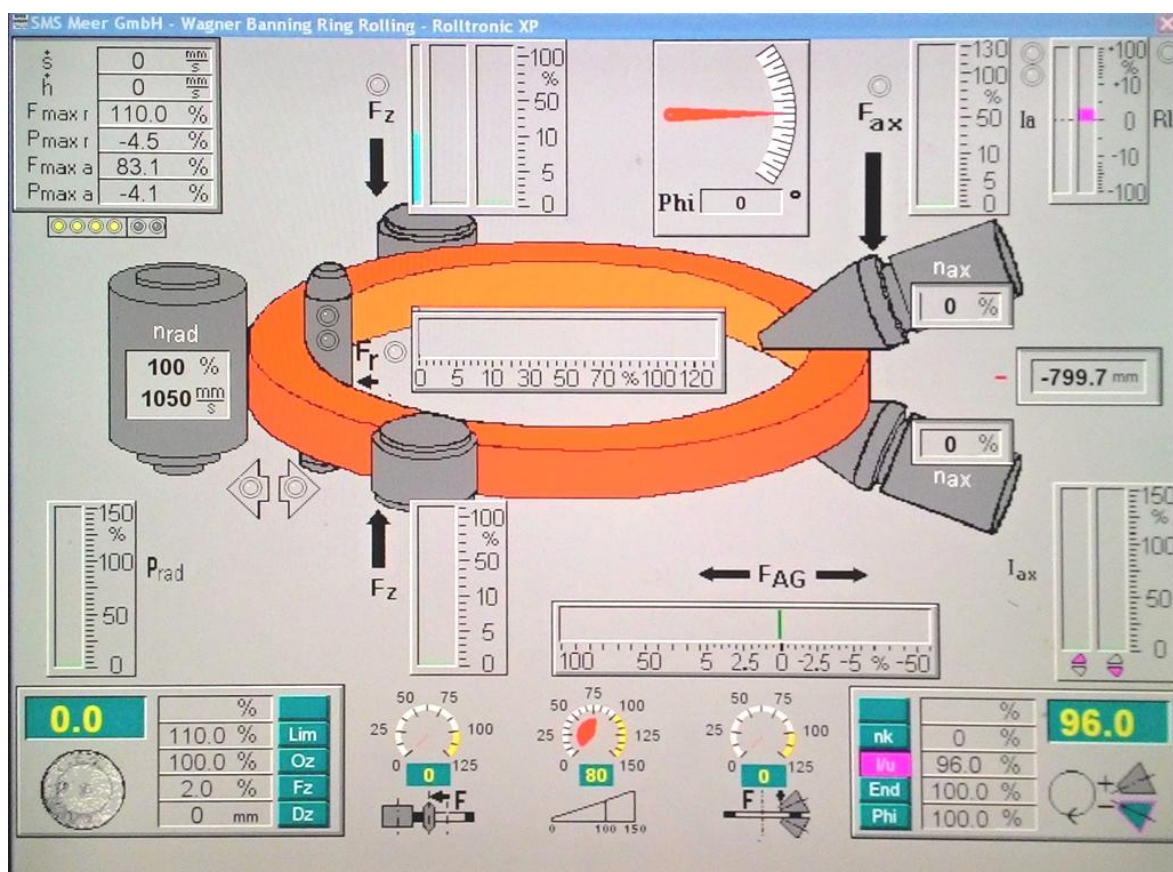
Levá obrazovka z obrázku 79 zobrazuje samotný proces válcování s hodnotami maximálních přítláčných sil, radiálních otáček, přítláčných tlaků, absolutních úběrů šířky i výšky kroužku a maximálního výkonu v axiálním i radiálním směru. Jakmile by se jakákoliv hodnota dostala do kritické oblasti, musel by se stroj zastavit, aby nedošlo ke zničení nástroje nebo případně celého stroje. Detail obrazovky je uveden na obrázku 80. Zmíněné hodnoty jsou hlídány a kontrolovány programem Rolltech od firmy SMS MEER. Jedná se o software, který běží na standardních PC, takže není potřeba speciální techniky.



Obr. 78 Kontrola uložení výkovků

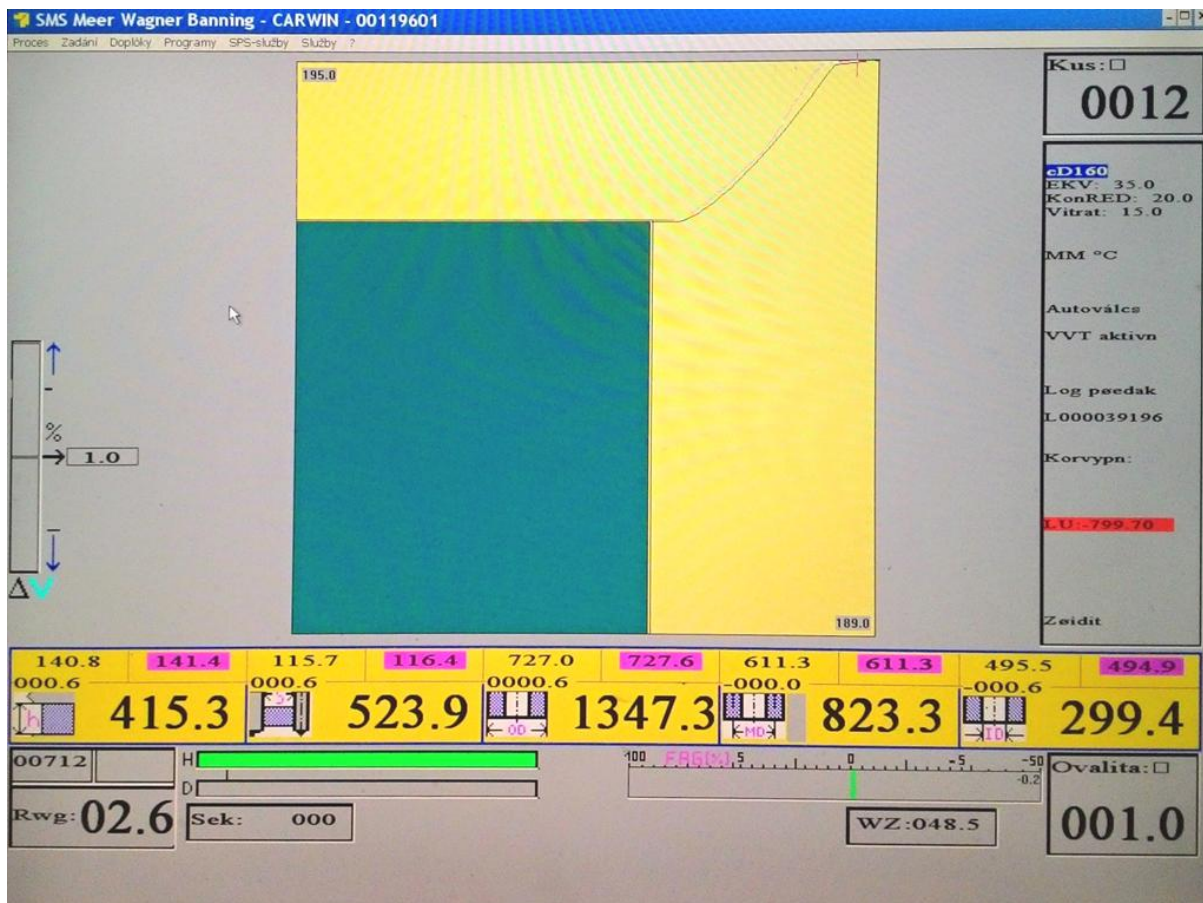


Obr. 79 Řídicí panel s monitory



Obr. 80 Kontrola procesu válcování softwarem Rolltech

Program snadno reprodukuje proveditelnost a podporuje oddělení konstrukce s automatickým vykreslováním profilů válcovacích křivek (obr. 81). Dále udává celkový přehled pohybu materiálu po skladě, v ohřívacích pecích až po pece na tepelné zpracování. Na obrázku lze také pozorovat a číslo kusu, které se bude razit na kruh a diferenci k hlavním rozměrům, kterou při procesu znázorňuje křížový kurzor.



Obr. 81 Program pro výpočet automatické válcovací křivky za současné kontroly kvality a ovality

Při výrobě kruhů je nutné snímat teplotu na začátku, během a na konci válcování, z hlediska zajištění kontrolovaného procesu a zachování bezpečnosti práce na pracovišti. V případě poklesu pod stanovenou hodnotu dochází k navýšení přetvárného odporu materiálu doprovázeného navýšením válcovací síly vyvozené strojím zařízením. Při překročení požadované teploty dochází k degradaci materiálu náhlým hrubnutím zrna podílejícím se na poklesu mechanických vlastností hotového dílce. Teplota lze snímat kontaktními a bezkontaktními měřicími metodami, avšak při aplikaci kontaktních dochází k zásahu do výrobního procesu a navýšení výrobních časů. Společnost Triangolo využívá bezkontaktního snímače povrchové teploty IR Voltcraft 220-50D USB (obr. 82), jehož technické údaje jsou uvedeny v tabulce 7. Jedná se o speciální infračervený teploměr s rychlou odezvou, velkým rozsahem měření a výbornou přesností s kvalitním provedením dvojitého laseru se zaměřovačem, který slouží k přesnému zacílení měřeného bodu a nastavení emisivity. Kromě posvíceného displeje snímač disponuje i odolným pryžovým úchopem.



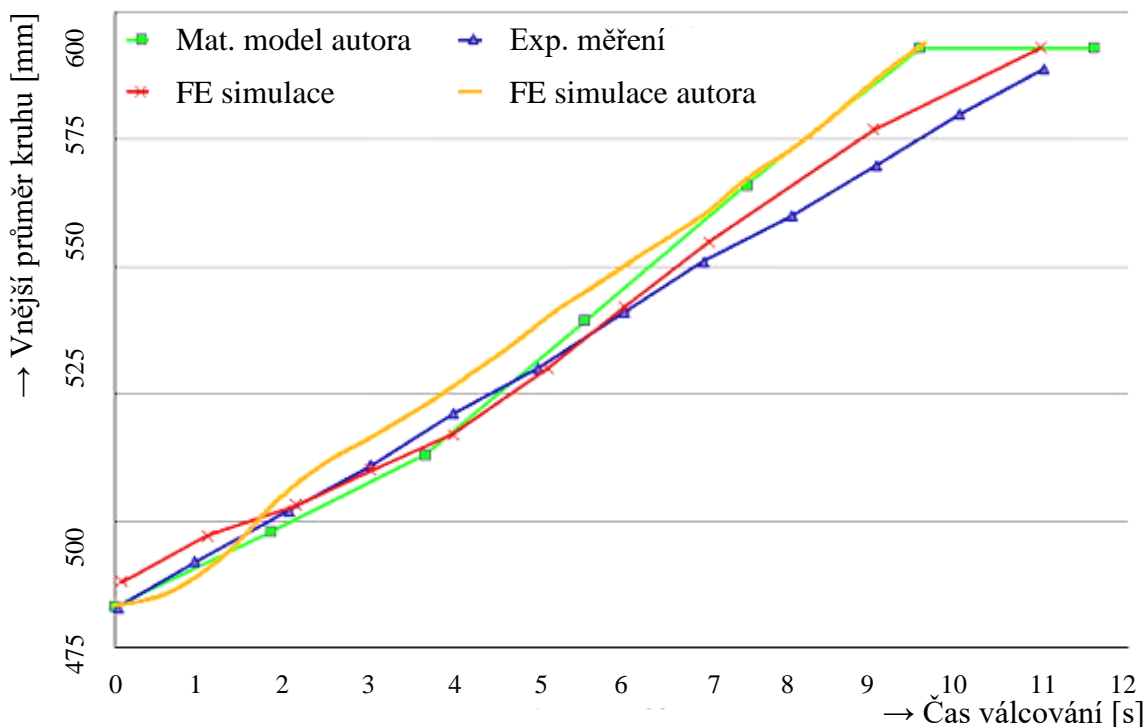
Obr. 82 Infračervený teploměr [17]

Tab. 7 Technické parametry bezkontaktního snímače IR Voltcraft [17]

Přesnost měření	Rozlišení teploty	Hmotnost	Doba odezvy	Teplotní rozsah	Stupeň emisivity
4 °C	0,1°C	320 g	< 150 ms	-50 a 2200°C	0,1 -1,0

Výstupem z programu jsou grafy v závislosti času na průměru. V důsledku veřejné verze této diplomové práce jsou na obrázcích 83 - 85 uvedeny pouze ilustrativní kruhy podobných rozměrů vyrobené metodou RA ze stejného materiálu, které jsou převzaty z vědeckého časopisu Science Directs. Nejedná se tedy o skutečné grafy poskytnuté společností Triangolo.

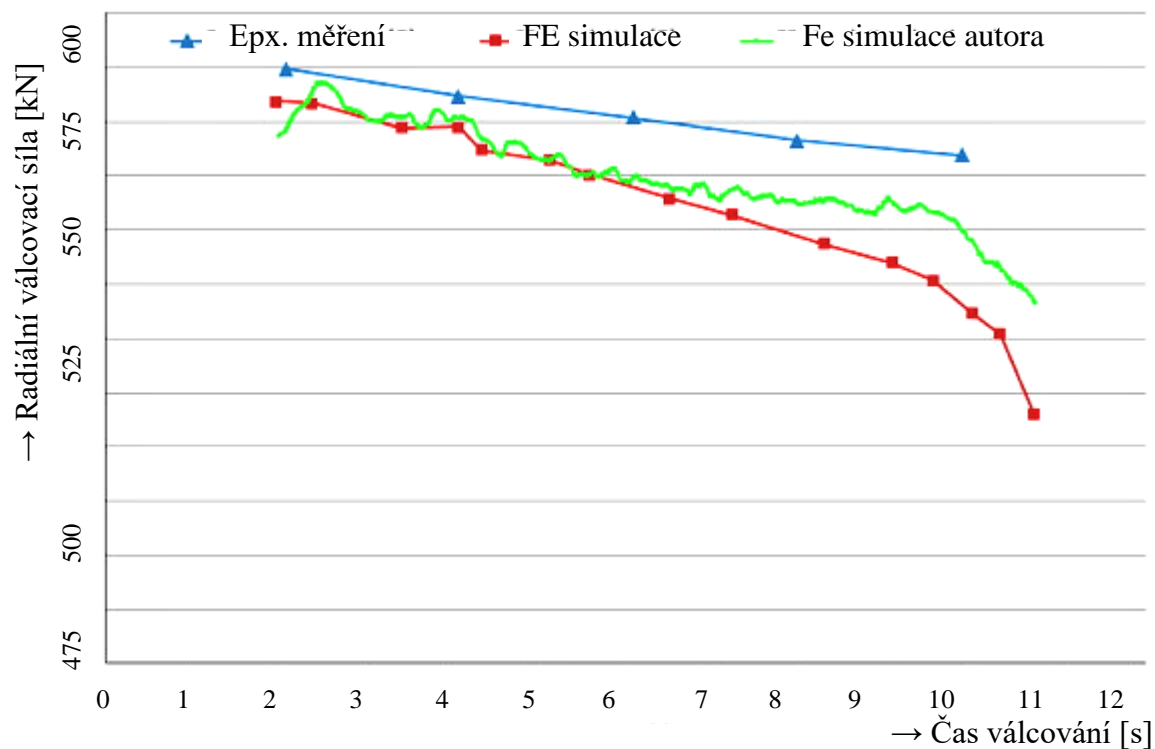
Prvním důležitým grafem je závislost vnějšího průměru kruhu na procesním čase, viz obr. 84. Autor zde uvádí porovnání výsledků získaných na základě experimentálního měření, výsledků ze simulačních softwarů a výsledků autorem vytvořeného materiálového modelu.



Obr. 83 Diagram závislosti vnějšího průměru kruhu na čase při RA [31]

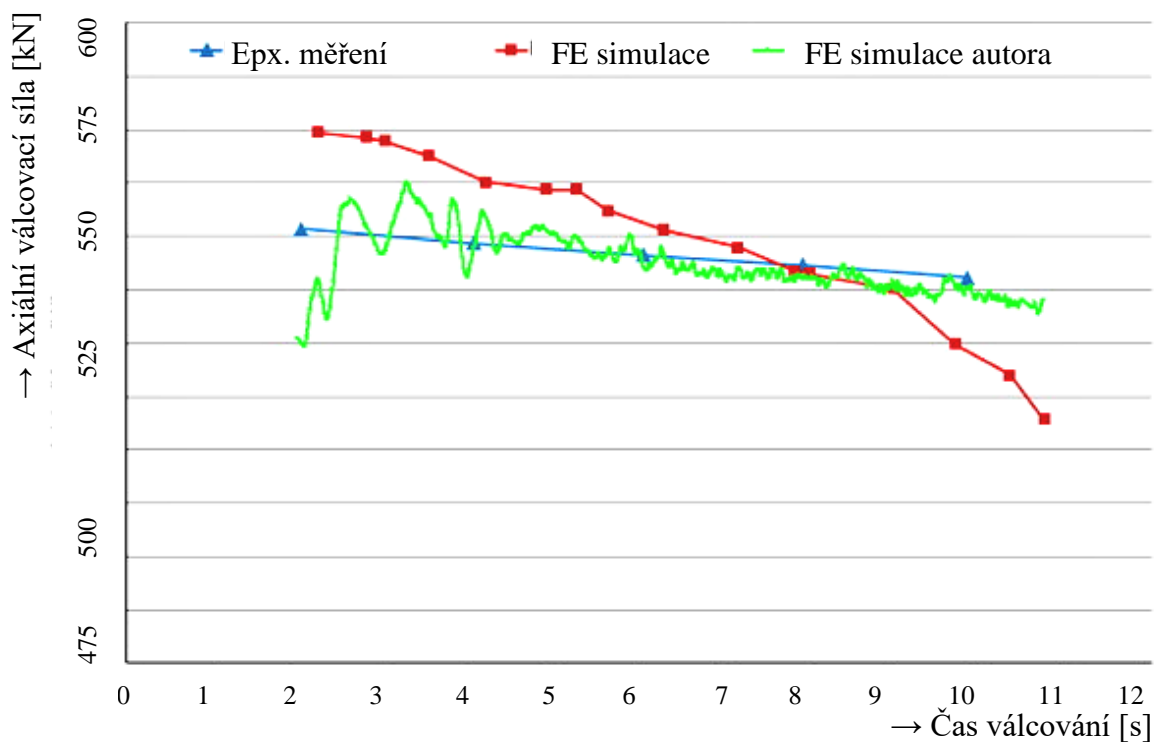
Diagram je vhodný pro představu toho, jak roste vnější průměr v závislosti na čase válcování. Z grafu je patrné, že vnější průměr kruhu roste ze začátku lineárně s časem, což bylo potvrzeno experimentálně a ověřeno na základě simulací.

Další podstatný diagram udává vývin radiální válcovací síly v závislosti na čase, který je znázorněn na obrázku 85. Z grafu je zřejmé, kdy začíná redukce průchodu materiálu v radiálním směru. Tváření začíná maximální silou a při postupné redukci klesá, dokud neskončí válcovací proces.



Obr. 84 Závislost radiální síly na čase při RA [31]

Poslední diagram uvádí závislost axiální síly na čase (obr. 86), která se do procesu zapojuje po zakružení materiálu a vykazuje více než dvakrát nižších hodnot než radiální síla. To je způsobeno nejen typem válcovací křivky, ale také výškou kruhu.

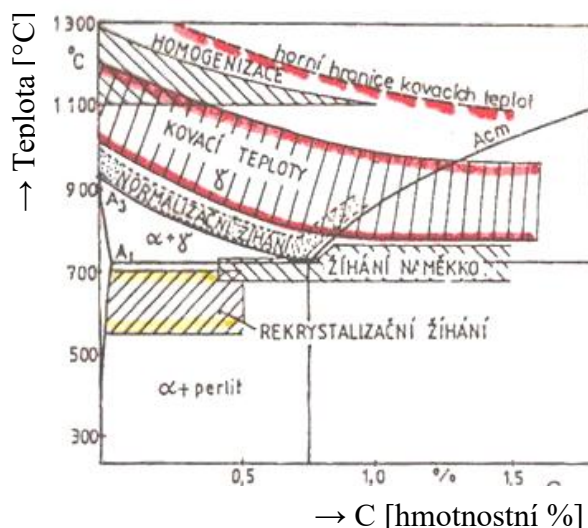


Obr. 85 Závislost axiální síly na čase [31]

Po vyválnování a vychladnutí jsou kruhy převezeny do vedlejší budovy a čekají u peci na normalizační žíhání, přičemž tímto procesem se také upravují kromě výkovků i svařence a odlitky. Normalizační žíhání patří do kategorie žíhání s rekrytalizací (obr. 86). Provádí se za účelem zjemnění austenitického zrna a homogenizace výsledné struktury. Kromě snahy odstranit hrubé zrna, eliminuje i často objevující se Windmannstattenovu strukturu. Zpravidla se provádí ohřevem na teplotu přibližně 30 - 50 °C nad teplotu A3 s ochlazením na vzduchu nebo pozvolným ochlazením v peci, což zabezpečí nízkou úroveň vnitřních pnutí.

Po žíhání postupují kruhy ke zušlechťování na pevnost 825 - 1000 MPa a tvrdost 245 - 285 HB. Kalením a popouštěním se nazývají ty procesy tepelného zpracování, jejichž cílem je dosažení nerovnovážných stavů oceli. Kalení se dělí podle převažující strukturní složky na martenzitické a bainitické. Pro dosažení požadované tvrdosti je nutné dosáhnout ve výsledné struktuře správného množství martenzitu. Po každém kalení musí nastat popouštění, při kterém zbytkový austenit a martenzit prochází určitými změnami. Samotný proces se skládá z ohřevu na nižší teplotu než je teplota A1 a přibližně hodinové výdrže. Tento postup by se měl opakovat nejméně 3krát pro dostatečné snížení zbytkového austenitu ve struktuře. Jelikož je diplomová práce zpřístupněna pro stažení veřejnosti, konkrétní žíhací a zušlechťovací diagram nemohl být zveřejněn.

Na obrázku 87 jsou znázorněny poměrně nové pece pro tepelné zpracování, které firma pořídila teprve nedávno.



Obr. 86 Oblast žíhacích teplot [34]



Obr. 87 Žíhací a kalicí pece

Následně jsou kruhy přesunuty k tryskacímu zařízení (obr. 88) a pomocí jeřábu opatřeného magnetickým chapadlem jsou vloženy do pracovní komory. Tryskání je jedním z technologických postupů používaných k opracování povrchu kovů a nekovových materiálů.

Je prováděno jemnými částicemi, kterým je dodávána velká rychlost. K tomu bývají využívány dva způsoby. První metoda tlakovzdušného trykání spočívá v unášení jemných abrazivních částic silným proudem stlačeného vzduchu a jejich vrhání na povrch. Druhá metoda je charakteristická mechanickým metáním abrazivních částic za pomoci rychle rotujících lopatek (obr. 89).

Z popsaného způsobu trykání a dalších materiálů vyplývají zejména následující výhody:

- Odstranění nečistot
- Odstranění starých nátěrů
- Odstranění koroze z povrchu
- Zbavení otřepků
- Zdrsňení povrchu



Obr. 88 Tryskací zařízení od firmy STEM



Obr. 89 Metody urychlení abrazivních částic při trykání kovových povrchů [46]

Při pískování se používají různé typy abraziva. Velmi často se jedná o směs drti litiny a oceli, křemičitého písku nebo strusky. Je tak zaručeno dosažení velmi čistého a jemného povrchu i v případě tvrdých materiálů.

Neprodleně po procesu tryskání je dílec připraven na přesun do vedlejší budovy vybavené zařízením k třískovému obrábění. Bezešvý kruh (obr. 90) je příčně nadělen pomocí kotoučové pily na 2 kusy o výšce 84 ± 3 mm.



Obr. 90 Otryskané kruhy před příčným řezem

Proces řezání lze pozorovat na obrázku 91, přičemž z levého části obrázku lze sledovat upevnění kruhu na otočném stole za vnitřní průměr a šedé kryty, které chrání před vniknutím zbytečných nečistot. Na pravém obrázku je zvýrazněné umístění kotoučové pily v CNC zařízení. Celý proces musí být chlazen a mazán, aby nedošlo k zadrhnutí kotouče a tím i nenávratnému zničení nástroje.



Obr. 91 Řezání dvojkusů

Příčně rozřezaný dvojkus je znázorněn na obrázku 92, takto připravené dílce putují na finální opracování hrubováním a následným dokončením dle předložené výkresové dokumentace.



Obr. 92 Rozřezané kruhy před opracováním na karuselovém soustruhu

Následujícím krokem je kontrola jakosti materiálu obrobeného vývalku pomocí nedestruktivní zkoušky ultrazvukem a spektrometrem.

Měření ultrazvukem (obr. 93) je prováděno pomocí akustických vln celého frekvenčního spektra, které pronikají zkoušeným materiálem ve formě elastických vln a jejich rychlost šíření je závislá na prostředí i mechanických vlastnostech materiálu.

Existuje několik metod provedení ultrazvukové zkoušky, jako jsou například průchodová metoda, rezonanční a odrazová, která je využívána nejčastěji ve firmě. Do kontrolovaného předmětu se vysílají krátké ultrazvukové impulsy, které se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Po odrazu v materiálu se ultrazvukové vlny vrátí buď na tentýž nebo na druhý

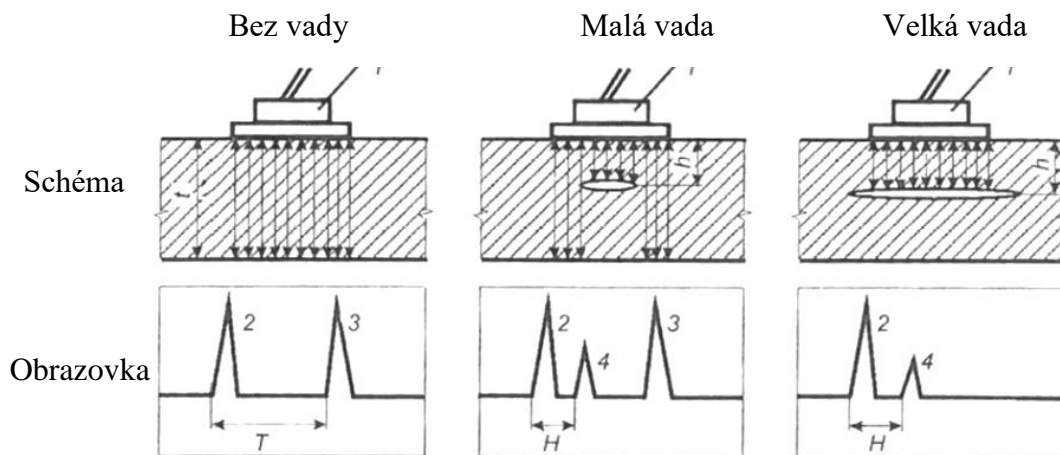


Obr. 93 Kontrola kruhů ultrazvukem

měníč a to jednosondový nebo dvousondový provoz, který pracuje jako přijímač. Časový průběh je zobrazen na obrazovce. V okamžiku vyslání impulsu je znázorněn na obrazovce počáteční impuls. Za dobu odpovídající dvojnásobné vzdálenosti od sondy je zobrazen poruchový a koncový impuls, který je odražený od protilehlé strany zkoušeného materiálu. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým impulsem je úměrná tloušťce zkoušeného předmětu a vzdálenosti mezi počátečním a poruchovým echem jsou úměrné hloubce vady. Metoda je velice citlivá a výsledky jsou dobře reprodukovatelné a pro její provedení stačí přístupnost k materiálu pouze z jedné strany.

Zmíněnou metodou lze zjistit existenci vnitřních vad (obr. 94) u materiálu s minimální tloušťkou 10 mm. Vadou v materiálu se rozumí každá odchylka rozměrů tvaru, hmotnosti, makro i mikrostruktury a jiných veličin od vlastností předepsaných technickými normami.

Za nedokonalost materiálu lze obecně považovat nesprávné chemické složení, vady struktury, dutiny, vměstky, tvarové a rozměrové vady, korozi, známky únavy a pnutí.



1 - okamžik vysílání pulzu, 2 - počáteční pulz, 3 - pulz odražený od protilehlého povrchu, 4- pulz odražený od vady, T - doba odpovídající dvojnásobné tloušťce materiálu, H - doba odpovídající dvojnásobné vzdálenosti vady od povrchu

Obr. 94 Princip měření ultrazvukem [47]

Měření lze provést pouze u materiálů, ve kterých se zvuk šíří, aniž by se nadměrně pohlcoval nebo tlumil a dosah zvukové energie svazku byl malý. Příkladem nevhodných materiálů je šedá litina, hrubozrnná struktura austenitických výkovků nebo plastické hmoty.

Pro ověření dodržení předepsané kruhovitosti tvaru vyrobeného dílce je využíváno pracoviště kontroly ovality (obr. 95). Ta byla kontrolována hned po samotném vyjmutí prstence ze stroje, ale díky tepelnému pnutí, které vzniklo při chladnutí, mohlo dojít k deformaci. Proto je nutné ji opětovně přeměřit.

Do vnitřního a zejména vnějšího průměru dílce jsou vložena posuvná měřidla, z nichž lze odečíst hodnoty průměrů v několika pozicích vyrobeného kruhu. Měření průměrů je aplikováno rovněž po tloušťce, přičemž na základě naměřených dat je stanovena odchylka kruhovitosti, jejíž hodnota musí vyhovovat předepsané toleranci.



Obr. 95 Analogová posuvná měřítka určená ke stanovení kruhovitosti součástky s délkovým rozsahem 2000 mm

Kromě kontroly ultrazvukem a ovality je nutné ověřit tvrdost povrchu a to i na hraně obrysu. Po vyválnování je kruh vyžihán a zušlechtěn na pevnost 825 až 1000 MPa, tyto poměrně vysoké hodnoty jsou dány množstvím vzniklého martenzitu. Pro kontrolu, zda bylo opravdu dosaženo martenzitické struktury, je nutné provést zkoušku tvrdosti.

Obecně lze tvrdost měřit několika způsoby a to buď dynamicky za pomoci například Poldi kladívka a Shoreho skleroskopu nebo dynamicky podle Knoop, Rockwella, Vickerse nebo Brinella. Poslední zmíněná metoda je v praxi hojně vyskytována a používá ji také společnost Triangolo pro testování na svých výrobcích (obr. 96).

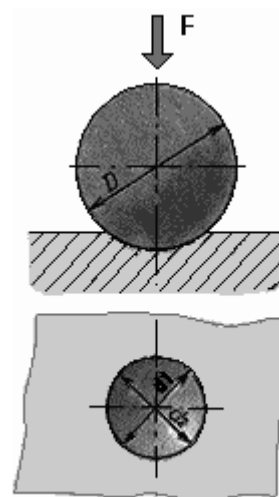


Obr. 96 Pracoviště kontroly tvrdosti podle Brinella s magnetickým manipulátorem

Tvrdost se určuje vtlačováním vnikajícího tělíska tzv. indentoru definovanou silou do povrchu materiálu (obr. 97). Existují dva způsoby měření tvrdosti. První způsob je používán u kovů a keramiky při zmáčknutí indentoru do materiálu takovou silou, aby došlo k trvalé plastické deformaci a tyto metody jsou obecně označovány jako vnikací. Druhým způsob měření tvrdosti je založen na principu elastické interakce povrchu materiálu se zkušebním tělískem a v současné době se používá pro hodnocení pryže a plastů.

Při měření tvrdosti podle Brinella je využívána kalená kulička o průměru 1; 2,5; 5 nebo 10 mm. Průměr samotné kuličky závisí na tloušťce měřeného materiálu. Doba působení zatěžující síly závisí na struktuře materiálu a u slitin železa se pohybuje kolem 10 - 15s. Přesnost měření závisí na správném proměření a vyhodnocení vtisku. Výsledný zápis se skládá ze značky HB a k ní připojených údajů z podmínek zkoušky.

Poslední pozice, kterou kruh navštíví, je kontrola jakosti materiálu za pomoci spektrometru. Jedná se o zařízení, které měří spektrum, díky tomu je možné zkoumat chemické složení vzorku. To se děje díky rozdílné odrazivosti a absorpci vlnových délek, protože prvky vykazují různé spektrální



Obr. 97 Znázornění vtisku indentoru [39]

vlastnosti. Tímto zařízením lze analyzovat kovy i slitiny a mezi jeho měřené prvky patří například Mg, Al, Si, P, S, V, Cr, Mn, Fe, Mo a mnoho dalších.

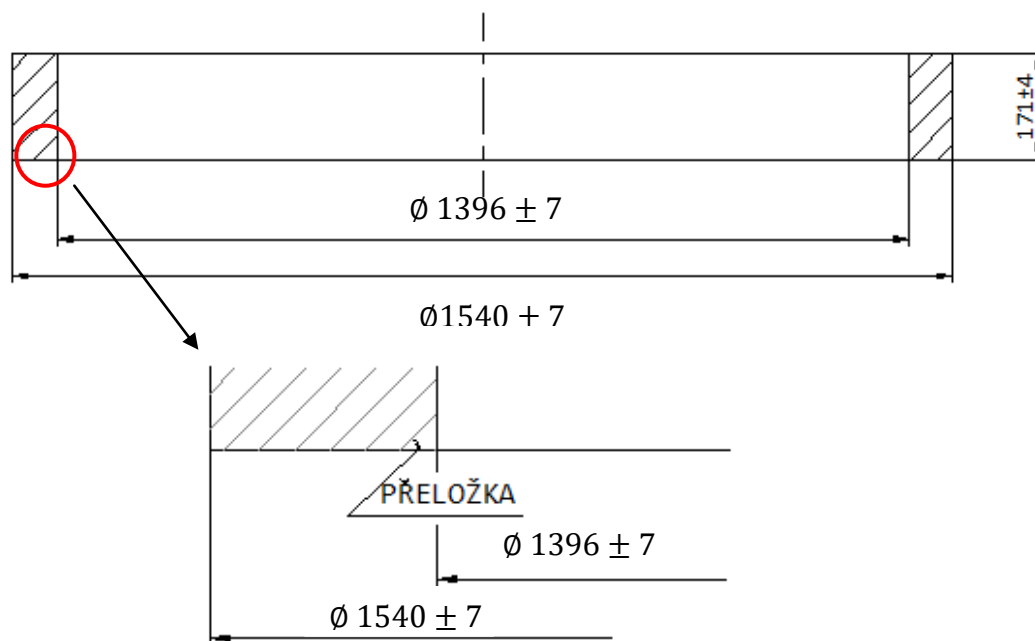
Je již zřejmé, že výroba součástí je poměrně náročný proces a celý technologický postup je shrnut v tabulce číslo 4. Podrobný postup výroby, který byl stanoven zaměstnanci firmy, je uveden v příloze číslo 8 a patří mezi firemní dokumentaci.

Jediná možnost, kde lze celkový výrobní čas ušetřit, je snížit vedlejší časy vzniklé při manipulaci s materiálem mezi jednotlivými operacemi.

Tab. 8 Technologický postup výroby bezešvého kruhu [32]

Materiál	Číslo tavby	Výchozí rozměr	Váha	Série	Cena za materiál
42CrMo4	50824	d 410 x 455 mm	475 kg	32 ks	7 742,50
Operace	Stroj	Popis práce	pozn.	Tbc	Tac
1a	Pila kotoučová	Řezat z jedné tavby	-	0,0	66
1b	Pila pásová				
2	Karuselová pec	Náhřev na kovací teplotu 1150°C výdrž na teplotě 2 hodiny	-	1,0	0,0
3	Lis CZR 1800	Předpěchovat	-	-	-
4	Lis CZR 1800	Předděrovat	-	-	-
5	Lis CZR 1800	Proděravět	-		
6	Stěrač	Přesun do pece	-	-	-
7	Komorová pec	Dohřev	-	-	-
8	RAW	Rozválcovat na předepsaný rozměr	Montovat nástroje	15,0	7,7
9	Žíhací pec	Žíhat pomocí diagramu TZ	-	1440,0	0,0
10	Kalicí pec	Zušlechtit na 825 - 1000 MPa pomocí diagramu TZ	-	0,0	196,0
11	Tryskač	Tryskat	-	0,0	10,0
12	Karusel. soustruh	Hrubovat	-	7200,0	160,0
13		Rozřežat	-	0,1	28,0
14	Ultrazvuk	Zkouška UZ QSA 010-2	-	0,1	25,0
16	Brinell	Zkouška tvrdosti	-	15,0	16,0
15	Spektrometr	Kontrola jakosti spektrometrem	-	15,0	0

Při kontrole kruhů byly u několika kusů zjištěny kovářenské vady ve formě přeložek na válcových plochách kruhu. Tento problém nastal při válcování a tím pádem docházelo v procesu i k částečnému zaválcování. Vada se projevovala už koncem roku 2016 a přetrvávala do počátku roku 2017. Reklamační protokol je uveden v příloze číslo 9. Přeložky vznikaly na spodním čele (obr.98) v blízkosti vnitřního průměru, což mělo za následek vyřazení součásti jako neshodný kus.



Obr. 98 Vznik kovářenských přeložek na spodní straně dvojkusu [32]

Z celkového množství 64 kusů (obr. 99) takto nevyhovuje 10 kusů předepsaným požadavkům, neboť vykazují zmíněné vady. Jelikož má tato vada kovářenský charakter, je možné ji eliminovat změnou technologického postupu, případnou obměnou nastavených parametrů radiálně axiální válcovačky. Pro její odstranění byly aplikovány následující úpravy parametrů.



Obr. 99 Výrobní dávka čekající na zákazníka

3.3 Změna nastavení parametrů válcování

Pro testování byl vybrán soubor tří skupin (A, B, C) po 10 kusech, které se válcovaly ve formě dvojkusů, které se následně rozřezali. Vyhodnocení bylo prováděno vizuálně a pomocí ultrazvuku. Celkem bylo tedy vyráběno dalších 60 kusů, které použila firma k doplnění zakázky a pro další užitkovou spotřebu. Ve výsledku bylo sledováno 5 parametrů, které ovlivňují výrobní proces radiálně axiálního válcování.

Při každém válcování byla několikrát snímána povrchová teplota kruhu pomocí bezkontaktního snímače povrchové teploty IR Voltcraft 220-50D USB a použitím výpočtu aritmetického průměru určena její hodnota.

Testovaný soubor kruhů "A" nebyl dohříván v komorové peci a po proděravění a srovnání ploch předkovku byl rovnou přesunut na radiálně axiální válcovačku. Sledované parametry tohoto souboru jsou znázorněny v tabulce 5.

Tab. 5 Změna parametrů válcování souboru "A" bez dohřevu

Č. kusu	Délka fáze rozšíření [%]	Křivkový faktor fáze rozšíření [-]	Křivkový faktor základní fáze [-]	Max. válcovací rychlost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]	Válcovací teplota [$^{\circ}\text{C}$]
1	18	0,1	1,8	14	950
2	18	0,1	1,8	13	920
3	18	0,1	1,8	13	935
4	18	0,1	1,8	15	940
5	18	0,1	1,8	14	950
6	18	0,1	1,8	14	925
7	18	0,1	1,8	15	920
8	18	0,1	1,8	13	945
9	18	0,1	1,8	14	950
10	18	0,1	1,8	14	920

Oproti zaběhnutému provozu je nastavována pouze změna maximální rychlost válcování a teplota každého kusu. Délka fáze rozšíření uvádí v procentech dobu trvání počáteční radiální fáze, při které dochází pouze k redukci průměru kruhu a jeho zakružení pomocí trnu a hlavního tvářecího válce. Křivkový faktor dále uvádí "prohloubení" válcovací křivky. Čím je jeho hodnota větší, tím je více přiblížen k nadčtvercovému profilu. Z hlediska praxe je tento profil nejvíce výhodný, protože axiální kladky nemusí vynaložit tolik práce pro dotváření výšky na požadovaný rozměr. Pokud je jeho hodnota velmi nízká, má křivka tvar čtvercový až nadčtvercový což se projeví například na délce tvářecího času.

Soubor "B" (tab. 6) po proděravění také nebyl dohříván a oproti zaběhnutým parametrům se měnila délka fáze rozšíření, křivkový faktor základní fáze a maximální válcovací rychlost.

Tab. 6 Změna parametrů válcování souboru "B" bez dohřevu

Č. kusu	Délka fáze rozšíření [%]	Křivkový faktor fáze rozšíření [-]	Křivkový faktor základní fáze [-]	Max. válcovací rychlost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]	Válcovací teplota [$^{\circ}\text{C}$]
11	15	0,1	3	13	930
12	15	0,1	3	15	940
13	15	0,1	3	13	915
14	15	0,1	3	15	955
15	15	0,1	3	14	950
16	15	0,1	3	13	935
17	15	0,1	3	15	910
18	15	0,1	3	14	955
19	15	0,1	3	14	930
20	15	0,1	3	15	940

Poslední zkušební soubor byl soubor "C" (tab. 7), avšak oproti ostatním směřoval po prodláždění do komorové pece na dohřev na válcovací teplotu. Tato změna zapříčinila i větší množství zoxidovaného povrchu, který byl při válcování odstraněn vysokotlakým proudem vody.

V tomto případě se zachovala hodnota procentuální délky, křivkový faktor rozšíření a základní fáze oproti předchozímu testovanému souboru.

Tab. 7 Změna parametrů s dohřevem v komorové peci

Č. kusu	Délka fáze rozšíření [%]	Křivkový faktor fáze rozšíření [-]	Křivkový faktor základní fáze [-]	Max. válcovací rychlost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]	Válcovací teplota [$^{\circ}\text{C}$]
21	15	0,1	3	14	980
22	15	0,1	3	17	985
23	15	0,1	3	15	975
24	15	0,1	3	16	980
25	15	0,1	3	14	975
26	15	0,1	3	15	990
27	15	0,1	3	16	985
28	15	0,1	3	18	985
29	15	0,1	3	17	990
30	15	0,1	3	15	980

Dohřev způsobil navýšení povrchové teploty přibližně o 50°C , což se v průběhu procesu projevilo více než příznivě. Válcovací rychlost byla v některých případech navýšena o 1 až $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Při sledování procesu byly provedené změny viditelné ve formě kratšího výrobního času a pohledově lepších ploch vývalků.

Poslední změna parametrů souboru kruhů "C" se výhledově jeví jako optimální, toto tvrzení bude ověřeno v další kapitole pomocí nedestruktivních zkoušek.

3.4 Vyhodnocení testovaných souborů

Celkem bylo testováno a vyválcováno 30 kusů kruhů v dvojkusové variantě. Po tepelném zpracování, vychladnutí, příčném rozřezání a obrobení bylo vyhodnoceno pomocí ultrazvuku několik neshodných kusů.

V tabulce číslo 8 je uvedeno množství neshodných kusů a jejich procentuální množství z celku.

Tab. 8 Množství vadných prstenců

	Soubor A	Soubor B	Soubor C
Počet neshodných kusů /kusů v souboru	12/30	6/30	0/30
Procentuální zastoupení	40 %	20 %	0 %

Z tabulky vyplývá, že nejvíce vadných kusů se vyskytovalo v testovacím souboru "A" a 20% se vyskytovalo v souboru "B". Při kontrole kruhů ze souboru "C" se nepodařilo najít žádnou přeložku, tím pádem bylo vhodných všech 30 kusů. To znamená, že nastavení parametrů a dohřev byl zcela optimální.

Oproti souboru "A" došlo ke zmenšení délky fáze rozšíření na 15%, dále byl upraven křivkový faktor základní fáze na 3 a fáze rozšíření byla zachována. Kromě zmíněných byla nastavena i jiná maximální válcovací síla a díky dohřevu došlo k větší teplotě povrchu vývalku při válcování.

Na obrázku 100 je příklad nastavení parametrů pro výpočet automatické válcovací křivky.

Automatická válcovací křivka:

☒ aktivní ☐ Válcovací křivka automatická

do rozšíření konec:

radiální posuv [%]: 15.0

křivkový faktor: 0.1

až je masa rozdělena:

radiální posuv [%]: 70.0

axiální posuv [mm]: 170.0

Křivkový faktor: 3.0

Koivkový faktor do EKV: 3.0

Koncový bod kombinovaného zaválcování: automaticky

Rychlosti:

Počáteční RWG: 5.0

RWG rozšířit: 5.0

Maximální RWG: 16.0

RWG redukce: 1.5

Válcovací rychlost: 1000.

Dif. rozměry rozjezdu:

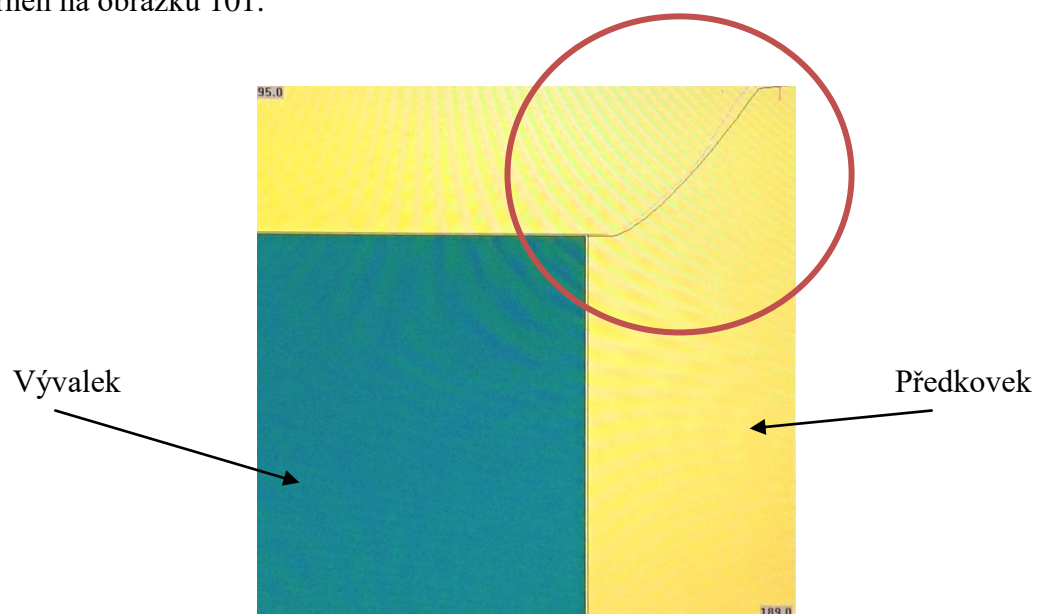
Diference tloušťka stiny: 5.0

Diference výška: 5.0

Obr. 100 Doporučené nastavení hodnot pro výpočet automatické válcovací křivky

Z celého testování tedy vyplývá, že největší vliv na válcovací proces má tvar válcovací křivky, poté teplota procesu a v neposlední řadě i délka fáze rozšíření. Nejméně se však na procesu podepsala maximální rychlost. Všechny tyto parametry ovlivňují výrobní proces a nevhodné nastavení vede kromě vzniku přeložek k další řadě tvarových defektů, které se mohou projevit i v nedodržení kruhovitosti.

Konkrétní správný tvar válcovací křivky, který je vhodný pro válcování zadané součásti, je znázorněn na obrázku 101.



Obr. 101 Vyhovující tvar válcovací křivky z programu Rolltech

4 ZÁVĚRY

Řešeným problémem byla výroba bezešvého kruhu ve spolupráci se společností Triangolo v zakázkové sérii 32 kusů. Dílec plní funkci velkorozměrného ložiska, nebo-li otoče umístěného pod kabinou bagru. Se zohledněním funkčnosti byl zvolen materiál 42CrMo4, který svou vysokou pevností v kombinaci s dostatečnou houževnatostí splňuje požadované mechanické vlastnosti

Pro jeho výrobu bylo uvažováno několik technologií, které se postupně ukázaly buď jako zcela nevhodné, například odlévání nebo vypalování plazmou nebo jako přijatelné např. radiální válcování. Z variant výroby byla zvolena technologie radiálně axiálního válcování, protože nejlépe vyhovuje zadaným kritériím a oproti radiálnímu válcování dochází ke tváření i v axiálním směru.

V návrhu výroby byl na základě technologičnosti upraven dílec na dvojkus, který se po vyválnování následně rozřezal na dva díly. Při kontrole zakázky bylo zjištěno, že poměrně velké množství z kruhů nelze považovat za shodné kusy, protože na spodní ploše poblíže vnitřního průměru se nacházely přeložky. Firma se s tímto problémem potýkala již od konce roku 2016 a proto bylo zapotřebí vhodně upravit válcovací parametry, aby nedocházelo k nákladné výrobě neshodných kusů.

Pro testování válcovacích parametrů byly vybrány 3 soubory kruhů ve formě dvojkusu po deseti. Při válcování každého souboru kruhů se měnili parametry tvaru válcovací křivky, dále maximální válcovací síly a délky fáze rozšíření v radiálním směru. Kromě těchto změn se u souborů "A" a "B" nedohřívalo na kovací teplotu a kruhy přecházeli rovnou na stroj.

V důsledku změn procesních parametrů stroje a ostatních parametrů byla prokázána eliminace vzniku vad typu přeložek vzniklých radiálně axiálním válcováním. Uvedené změny ve výsledku vedly k výrobě shodných kusů zcela bez kovárenských vad. Optimalizací parametrů bylo stanoveno, že zásadní vliv na výrobu bezešvých kruhů nese tvar válcovací křivky a teplota.

Pro rozšíření technologie jako výhled do budoucnosti může společnost zakoupit nový stroj RAW ecompact, který je řešen novým elektrohydraulickým pohonem. Tímto lze ušetřit poměrně dost financí, protože spotřebuje o 25 - 40 % méně energie než běžné stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. ZAPLETALOVÁ, Martina. Pěchovací zkouška a její význam pro praxi. Brno, 2015. 41s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
3. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. GUO, Lianggang a He YANG. Numerical Modelling and Simulation of Radial-Axial Ring Rolling Process. *Computer and information science* [online]. 2011 [cit. 2017-05-25]. DOI: 10.5772/24643. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/numerical-analysis-theory-and-application/numerical-modelling-and-simulation-of-radial-axial-ring-rolling-process>
6. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Státní nakladatelství technické literatury, 1965. ISBN 04-233-65.
7. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.
8. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
9. SMS GROUP, SMS MEER. *Technology Handbook: Radial and axial rolling Machine*.
10. ZHU, Xinglin a Dong LIU. Optimization on cooperative feed strategy for radial-axial ring rolling process of Inco718 alloy by RSM and FEM. *Chinese Journal of Aeronautics* [online]. 2016, (29), 831-842 [cit. 2017-05-25]. DOI: 10.1016. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936116300176>
11. Ball slewing ring bearing. *B2bimg.bridgat* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://b2bimg.bridgat.com/files/Ball_slewing_ring_bearing_bearing__slew_bearing.jpg
12. Centrifugal casting. *MetalTek international* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.metaltek.com/capabilities/processes/metal-casting/centrifugal-casting>
13. Cylinders bearing. *Skf* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.skf.com/binary/107-150964/1005%200005%20-%2010000_tcm_12-150964.png
14. Double-row ball slewing bearing. *CHG slewing bearings* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.slewingring-bearing.com/wp-content/uploads/2012/01/2011091303482330115.jpg>
15. Excavator training course. *Control.cervusrcorp* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://control.cervuscorp.com/uploads/construction/training/14/excavator-training-course-safety-certification_480x480.jpg
16. Fotogalerie kovárny, výroby výkovků a zpracování oceli. *Triangolo kovárna Hulín* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.triangolo.cz/galerie.html>

17. IR thermometer VOLTRCRAFT. *Conrad* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.conrad.com/ce/en/product/100923/IR-thermometer-VOLTRCRAFT-IR-SCAN-350RH-Display-thermometer-121-50-up-to-350-C-Pyrometer-Dew-point-scanner-Calibra>
18. Karuselové pece. *E-Therm* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.ethermtz.cz/vyrobky/karuselove-pece/>
19. Materiálová norma. *Preciz* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.7225>
20. O společnosti. *Triangolo kovárna Hulín* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.triangolo.cz/o-spolecnosti.html>
21. Převodní tabulka značení ocelí. *E-konstruktor* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli>
22. Paikeforging. *Paik Forging wuxi paik new materials technology* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://paikeforging.com/Uploads/145623787656b2d2959465c.jpg>
23. Pilový kotouč 185/30. *Profi nářadí* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.nejnaradi.cz/kov/2034-makita-b-09787-pilovy-kotouc-185-30-48z.html>
24. Pojezdová kola, kladky a rolny. *Zabi* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.zabi.cz/ocelove-kolo-s-nakolkem-v30>
25. Přehled vlastností oceli 42CrMo4. *Bolzano* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf
26. Přítlačný kroužek. *Monsta: DAK Agrimo* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.monsta.cz/nahradni-dily-na-traktory/pritlacny-krouzek-katalog-cislo-30111932?vypis=hodnoceni>
27. Radial and axial rolling. *Ifam: rwth aachen university* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: https://www.ifam.rwth-aachen.de/global/show_picture.asp?id=aaaaaaaaabuzok&w=&h=&gray=&neg=&mirror=&flip=&rleft=&rright=&r180=&thres=&dither=&crize=&srgb=&noise=&cont=&jitter=&blur=&edge=&emboss=&pseudo=&painter=&repair=&sharpen=&soften=&gauss33=&gauss55=&light=&contrast=&crop
28. Rolling. *Ars.els-cdn* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0261306914001010-gr1.jpg>
29. Řezání plechů. *Ikov trade: pálení plechů* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.ikovtrade.cz/rezani-plechu.php>
30. Seamless ring forging. *Scot Forge* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.scotforge.com/Portals/0/ScotForgeImages/05-Learning-Center/5_2_2_2-seamless-ring-forging.png
31. *Set-up of radial-axial ring-rolling process: Process worksheet and ring geometry expansion prediction* [online]. 2015, (99), 58-71 [cit. 2017-05-25]. DOI: 2015.05.004. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020740315001836>
32. STIBORA, Jaroslav. *Interní dokument*.

33. Soustružení. *Vpaz* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.vpaz.cz/images/big/540000086.jpg>
34. Technologie tváření kovů a plastů. *Technická univerzita Liberec: fakulta strojní* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
35. Train wheel and accessories. *Iravani trading company ltd* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.iravanitrading.com/en/index.php/products/train/>
36. *Válcovačka kruhů 1,6/1: Zařízení pro radiálně axiální válcování obručí a strojírenských kruhů*. 1981. Vítkovice.
37. Vel'korozměrné otočné ložiska – „otoče“. *Thyssenkrupp* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.psl.sk/sk/produkty/otoce.php>
38. Vzdělávací centrum společnosti ESAB. *ESAB* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>
39. Zkouška tvrdosti dle Brinella. *ConVERTER* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-brinell.htm>
40. 3D models trucks. *Preiew.turbosquid* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://preview.turbosquid.com/Preview/2014/05/19__20_45_39/Trucks%20\(2\).jpgf6f4a55f-c491-4661-bd2e-6b821dbb2792Original.jpg](http://preview.turbosquid.com/Preview/2014/05/19__20_45_39/Trucks%20(2).jpgf6f4a55f-c491-4661-bd2e-6b821dbb2792Original.jpg)
41. Amatéřský kovář. *Kovárna* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/amatersky_kovar.htm
42. Forgings. *Great central turf* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.greatcentralturf.com/products_gtc_parts.html
43. Technologie tváření - opory. *Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/obr01.htm
44. Technologie tváření kovů [online]. BEROUN, Stanislav. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/18802374-Technologie-tvareni-kovu.html>
45. HUA, Lin, Jiadong DENG a Donhsheng QIAN. *Modeling and application of ring stiffness condition for radial-axial ring rolling* [online]. 2016, , 66-79 [cit. 2017-05-25]. ISSN International Journal of Machine Tools and Manufac. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695516302322>
46. Technologie tryskání. *Spolmont s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.tryskani.kvalitne.cz/tryskani.php>
47. Zkoušky bez porušení materiálu. *SŠSE Brno* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/zkouska_ultrazvukem.pdf
48. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty*. Dostupné také z: areálové knihovny VUT FSI
49. Volba úchylek rozměrů a tvarů. *Ústav strojírenské technologie: fakulta strojní v Praze* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-tolerance.pdf>
50. Ring and wheel rolling machines. *SMS group* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.sms-group.com/plants/all-plants/ring-and-wheel-rolling-machines/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
D	Vnitřní průměr prstence	[mm]
D _v	vnější průměr kruhu	[mm]
\dot{D}	Rychlost růstu prstence	[mm·s ⁻¹]
d ₁	Průměr vtisku 1	[mm]
d ₂	Průměr vtisku 2	[mm]
d	Vnější průměr trnu	[mm]
dm	Protažení tvářicího elementu	[mm]
d _{i (1,2,3,4,5)}	Obvod jednotlivých průměrů zkoseného válce	[mm]
e ₁	Výška vychýlení sil	[mm]
e ₂	Šířka vychýlení sil	[mm]
F _{z1}	Zátěžová síla 1	[N]
F _{z2}	Zátěžová síla 2	[N]
F _{rad}	Radiální síla od hlavního válce	[N]
F _r	Síla vyvozená trnem	[N]
F _a	Síla vyvozená kužely	[N]
F	Zatěžující síla indentoru	[N]
f	Součinitel tření	[-]
H	Výška předkovku	[mm]
H _{ma}	Střední výška deformace profilu	[mm]
H _{max}	Maximální prstence před deformací	[mm]
h ₀	Počáteční výška profilu	[mm]
h ₁	Výška síly F _{z1}	[mm]
h ₂	Výška síly F _{z2}	[mm]
h	Výška tvářeného elementu	[mm]
h _p	výška konečného profilu	[mm]
h _r	Výška rozvalku	[mm]
\dot{h}	Rychlosti axiální redukce	[mm·s ⁻¹]
KV	Nárazová práce	[J]
l _a	Kontaktní délka zkosených válců	[mm]
l _{ai}	Kontaktní délka zkosených válců v bodě "i"	[mm]
l _{aa}	Kontaktní délka zkosených válců v axiálním směru	[mm]
n ₁	Otáčky hlavního válce	[min ⁻¹]
n _i	Otáčky jednotlivých průměrů zkoseného válce	[min ⁻¹]
n _a	Otáčky axiálních válců	[min ⁻¹]
RA	Radiálně axiální válcování	[-]
r	Měřený poloměr	[mm]
S _p	Šířka konečného profilu	[mm]
S _r	Šířka počátečního profilu	[mm]
s	Šířka tvářeného elementu	[mm]
s _r	Síla stěny rozvalku	[mm]
\dot{s}	Rychlosti radiální redukce	[mm·s ⁻¹]
T	Teplota	[°C]
t	Čas válcování	[s]
T _{bc}	Čas přípravný	[min]
T _{ac}	Čas strojní	[min]
V	Objem ztrátového materiálu	[mm ³]

VK	Válcovací křivka	[-]
$V_{ax \text{ vál.}}$	Rychlost axiálních válců	$[mm \cdot s^{-1}]$
V_{trnu}	Rychlost trnu	$[mm \cdot s^{-1}]$
v_l	Přítlačná síla	$[mm \cdot s^{-1}]$
v	Obvodová rychlost	$[mm \cdot s^{-1}]$
v_a	Rychlost axiálního válce	$[mm \cdot s^{-1}]$
Z	Kontrakce	[%]
α	Úhel natočení stolu	$[^\circ]$
Δh	Redukce výšky	[-]
Δs	Redukce stěny	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_d	Deformační odpor	[MPa]
σ_p	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_r	Napětí v radiálním směru	[MPa]
σ_t	Tlakové napětí	[MPa]
σ_z	Napětí ve směru osy 'z'	[MPa]
σ_{Zmax}	Maximální napětí ve směru osy 'z'	[MPa]
σ_{Zmin}	Minimální napětí ve směru osy 'z'	[MPa]
σ_{Zs}	Střední osově napětí	[MPa]
τ_f	Třecí smykové napětí	[MPa]
φ	Logaritmická deformace	[-]
ω	Obvodová rychlost	$[rad \cdot s^{-1}]$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Bezešvé kruhy, nákolky a vlaková kola [13], [22], [24], [26], [35], [40]	9
Obr. 2 Výkres součásti	10
Obr. 3 Využití otočí v praxi [11], [14], [r15]	10
Obr. 4 Charakteristické operace a logo firmy [20]	11
Obr. 5 Karuselové soustružení [33]	12
Obr. 6 Odlévání [12]	12
Obr. 7 Vypalování plazmou [29]	12
Obr. 8 Radiální válcování [16]	13
Obr. 9 Radiálně axiální válcování [27]	13
Obr. 10 Varianty tvarů a profilů kruhů [9]	14
Obr. 11 Rozdíl mezi starším a novějším válcováním kruhů [28]	14
Obr. 12 Schéma radiálně axiálního válcování [5]	15
Obr. 13 Plný trn [36]	15
Obr. 14 Trn s nástrojem [36]	15
Obr. 15 Plný trn podepřený [36]	16
Obr. 16 Axiální válce[36]	16
Obr. 17 RA válcování s podepřeným plným trnem a s odměrnými kladkami [28]	16
Obr. 18 Obecná závislost válcovacího času na průměru kruhu[9]	17
Obr. 19 Závislost rychlosti růstu kruhu na průměru[9]	18
Obr. 20 Průběh válcovací síly v závislosti na průměru kruhu [9]	18
Obr. 21 Znázornění směrodatné kružnice[36]	18
Obr. 22 Válcování na směrodatné kružnici [36]	19
Obr. 23 Ideální bezprokluzové válcování[36]	19
Obr. 24 Znázornění rychlostí redukce průřezu v procesu [9]	20
Obr. 25 Element tvářeného materiálu [9]	20
Obr. 26 Postupná tvorba VK [32]	20
Obr. 27 Znázornění průřezu tvářeného materiálu s příslušnou válcovací křivkou [10]	21
Obr. 28 Tvary VK pro různé profily vývalku [10]	21
Obr. 29 Závislost přetvárného odporu na teplotě [44]	22
Obr. 30 Oblast tvářecích teplot [43]	22
Obr. 31 Přehřátí [41]	23
Obr. 32 Okuje na prstenci [42]	23
Obr. 33 Podíl složek okují v závislosti na teplotě [3]	23
Obr. 34 Pohled shora na karusel. pec [3]	24
Obr. 35 Schéma komorové pece [3]	24
Obr. 36 Pěchování válce [36]	25
Obr. 37 Druhy pěchování [6]	25
Obr. 38 Rozložení napětí při pěchování válcového vzorku[4]	25
Obr. 39 Rozložení osového napětí podle Siebela [4]	26
Obr. 40 Rozložení osového napětí podle Unksova [4]	27
Obr. 41 Děrování předkovku [6]	27
Obr. 42 a) Proces s plným trnem [6]	28
Obr. 42 b) Proces s dutým trnem [31]	28
Obr. 43 Schéma počáteční fáze válcování kruhu [31]	28
Obr. 44 Závěrečné kalibrování kruhu [31]	29
Obr. 45 Diagram vývoje teploty v tvářecím procesu [10]	29
Obr. 46 Špatně proděrovaný otvor [9]	30
Obr. 47 Problém, při RA válcování [9]	30

Obr. 48 Rozdílné rychlosti [9].....	30
Obr. 49 Šikmý stůl [9].....	30
Obr. 50 Vyosené středící kladky[9]	30
Obr. 51 Vznik nerovnoměrného průřezu [9]	30
Obr. 52 Ovalita[9]	31
Obr. 53 Tvarové defekty při radiálně axiálním válcování [9].....	31
Obr. 54 Neshodný kus z praxe [45].....	31
Obr. 55 Diagram závislosti vzniku trhliny na velikosti průměru [9]	31
Obr. 56 Rozměry výkovku	32
Obr. 57 Nový výkres výkovku ve variantě dvojku [32]	32
Obr. 58 Naznačení příčného řezu [23]	32
Obr. 59 Stroj RAW 100/125 pro radiálně axiální válcování umístěný v hale firmy Triangolo	33
Obr. 60 Detail axiálních kuželů.....	33
Obr. 61 Detail hlavní válce stroje RAW	33
Obr. 62 Sklad materiálů polotovarů pro výrobu vývalku.....	35
Obr. 63 Pásová pila značky Behringer	35
Obr. 64 Kotoučová pila	35
Obr. 65 Materiál čekající na postupné založení do karuselové pece.....	36
Obr. 66 Lis CZK 1800 v při pēchování.....	36
Obr. 67 Zakládání do komorové pece	36
Obr. 68 Manipulační vozík s předkovkem	36
Obr. 69 Zkosené kužele válce	37
Obr. 70 Ukázka skladování nářadí	37
Obr. 71 Hladký tvářecí válec.....	37
Obr. 72 Pracovní desky připraveny na montáž ke stolu radiálně axiální válcovačky.....	38
Obr. 73 Materiál čekající na postupné založení do karuselové pece.....	38
Obr. 74 Odstranění okují a počátek válcování	39
Obr. 75 Postup radiálně axiálního válcování	39
Obr. 76 Konec válcováníprůměru	40
Obr. 77 Manipulace s výkovkem	40
Obr. 78 Kontrola uložení výkovků	40
Obr. 79 Řídicí panel s monitory	40
Obr. 80 Kontrola procesu válcování softwarem Rolltech	41
Obr. 81 Program pro výpočet automatické válcovací křivky za současné kontroly kvality a ovality	42
Obr. 82 Infračervený teploměr [17]	42
Obr. 83 Diagram závislosti vnějšího průměru kruhu na čase při RA [31].....	43
Obr. 84 Závislost radiální síly na čase při RA [31].....	44
Obr. 85 Závislost axiální síly na čase [31]	44
Obr. 86 Oblast žíhacích teplot [34]	45
Obr. 87 Žíhací a kalicí pece]	45
Obr. 88 Tryskací zařízení od firmy STEM	46
Obr. 89 Metody urychlení abrazivních částic při tryskání kovových povrchů [46]	46
Obr. 90 Otryskané kruhy před příčným řezem.....	47
Obr. 91 Řezání dvojku kotoučovou pilou.....	47
Obr. 92 Rozřezané kruhy před opracováním na karuselovém soustruhu.....	48
Obr. 93 Kontrola kruhů ultrazvukem	48
Obr. 94 Princip měření ultrazvukem[47]	49
Obr. 95 Analogová posuvná měřítka určená ke stanovení kruhovitosti součástky s délkovým rozsahem 2000 mm.....	49

Obr. 96 Pracoviště kontroly tvrdosti podle Brinella s magnetickým manipulátorem	50
Obr. 97 Znázornění vtisku indentoru [39]	50
Obr. 98 Vznik kovárenských přeložek na spodní straně dvojkusů [32]	52
Obr. 99 Výrobní dávka čekající na zákazníka	52
Obr. 100 Doporučené nastavení hodnot pro výpočet automatické válcovací křivky	55
Obr. 101 Vyhovující tvar válcovací křivky z programu Rolltech	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení a mechanické vlastnosti [19] [25]	11
Tab. 2 Alternativní značení oceli 15 142 [21]	11
Tab. 3 Maximální dovolené hodnoty zatížení stroje RAW [32]	34
Tab. 4 Technické parametry stroje RAW [32]	34
Tab. 5 Rozměry kuželových válců [32]	34
Tab. 6 Rozměry tvářecího válce a trnu [32]	34
Tab. 7 Technické parametry bezkontaktního snímače [17]	43
Tab. 8 Technologický postup výroby bezešvého kruhu [32]	51
Tab. 9 Změna parametrů válcování souboru "A" bez dohřevu	53
Tab. 10 Změna parametrů válcování souboru "B" bez dohřevu	54
Tab. 11 Změna parametrů s dohřevem v komorové peci	54
Tab. 12 Množství vadných prstenců	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Přehled vlastností oceli 42CrMo4
Příloha 2	Materiálový list oceli 42CrMo4
Příloha 3	Typy tvarových kruhů
Příloha 4	Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení
Příloha 5	Tvarový tvářecí válec
Příloha 6	Technologický postup
Příloha 7	Vlastnosti stroje RAW 100(125)-100(125)
Příloha 8	Reklamační protokoly
Příloha 9	Parametry stroje RAW z programu Rolltech

SEZNAM VÝKRESŮ

Součást	DP-01-A4
Výkovek	DP-02-A4

PŘÍLOHY

Příloha 1 Přehled vlastností oceli 42CrMo4 [25]

1/1

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4)

1.7225 (1.7227)

Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																
Drtivější označení	42CrMo4 (42CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 (42CrMoS4) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN																
Použití	Ocel s vyšší prokavitelností pro vysoce namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťování docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křivkostí. Kall se do méně razantního kalícího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalících trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používaným oceli k zušlechťování.																
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V								
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-								
Složení hotového výrobku ²⁾	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33	-	-								
Mechanické vlastnosti v zušlechťném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _m min. MPa		R _m MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J						
	d ≤ 16		900		1100 – 1300		10		40		-						
	16 < d ≤ 40		750		1000 – 1200		11		45		35						
	40 < d ≤ 100		650		900 – 1100		12		50		35						
	100 < d ≤ 160		550		800 – 950		13		50		35						
	160 < d ≤ 250		500		750 – 900		14		55		35						
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost				Žitáno na měkko				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)								
	HB max. 255				HB max. 241				HRC min. 53								
Prokavitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																
	Tvrdost v HRC																
	+H	Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
		max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
	+HH	min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29
		max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
	+HL	min.	56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34
		max.	58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

Křivky prokavitelnosti

Technologické vlastnosti

Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C						
Tepebné zpracování	Normalizační žitání °C	Žitání na měkko °C	Isotermické žitání °C	Teplota kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5
	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.). Jako kalící prostředí se s ohledem na výhodnost ke kalícím trhlám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťování u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žitání před zušlechťováním. Body přeměny : A _{c1} = 745°C; A _{c3} = 790°C; M _s = 300°C						
Obrobitelnost	Obraábí se ve stavu žitáném na měkko. Při nižších pevnostech lze obraábět i ve stavu zušlechťném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žitáném a dokončí po zušlechťování.						
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro střihání se ocel žihá nebo řízně vychlazuje.						

¹⁾ obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťování) těž u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žitáném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R_m – mez kluzu, R_p – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokavitelnost jsou hodnoty prokavitelnosti pouze informativní.

⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokavitelnosti, +HH – žitžený pás prokavitelnosti směrem k horní hranici, +HL – žitžený pás prokavitelnosti směrem ke spodní hranici.

WNr.

(číslo materiálu)

1.7225

Cr-Mo ocel k zušlechťování

OCEL

Kurzname (značka)

42 CrMo 4

Chemické složení [hm. %]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,38–0,45	max 0,40	0,60–0,90	max 0,035	max 0,035	0,90–1,20	0,15–0,30

Normy DIN

DIN EN 10083/1-91 – oceli k zušlechťování

DIN 1652/4-90 – oceli k zušlechťování

DIN 1654/4-89 – oceli k zušlechťování pro tažení a lisování za studena

DIN 17204-90 – bezešvé trubky z ocelí k zušlechťování

DIN 17201-89 – výkovky z ocelí k zušlechťování

Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17–40	41–100	101–160	–
Stav	zušlechťený				žíhaný na měkko
Mez kluzu R _e [MPa] min	900	750	650	550	–
Mez pevnosti R _m [MPa]	1 100–1 300	1 000–1 200	900–1 100	800–950	–
Tažnost A ₅ [%] min	10	11	12	13	–
Kontrakce Z [%] min	40	45	50		–
Nárazová práce KV [J] min	30				–
Tvrdost HB max	–				241

Trubky

Tloušťka stěny t [mm]	≤ 8	9–20	21–50	51–80	
Stav	zušlechťený				
Mez kluzu R _e [MPa] min	900	750	650	550	
Mez pevnosti R _m [MPa]	1 100–1 300	1 000–1 200	900–1 000	800–100	
Tažnost A ₅ [%]	podél min	10	11	12	13
	napříč min	8	9	10	11
Kontrakce Z [%] min	40	45	50		
Nárazová práce KV [J] min	35				
Tvrdost HB	–				

Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ [kg · m⁻³]

7 850

Technologické údaje		
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ		
normalizační žíhání	840–880 °C	ochlazovat na vzduchu
žíhání na měkko	680–720 °C	ochlazovat v peci
kalení	820–860 °C	ochlazovat ve vodě nebo v oleji
popouštění	540–680 °C	
prokalitelnost Jominy	53–61 HRC	(1,5 mm od čela)
prokalení Ø 28 mm	min 48 HRC	
min tvrdost pásku $t \leq 2$ mm kaleného do oleje - 560 HV		
TVAŘITELNOST		
teploty tváření	1 050–850 °C	
Použití		
Části s vysokou houževnatostí v automobilovém průmyslu a letectví, jako hřídele, klikové hřídele, pastorkové hřídele, ozubená kola, bandáže.		

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Česká republika	
–	–	42CrMo4 42CrMo4 KD	EN 10083/1-91 EN 119/3-74	15 142 42CrMo4	ČSN 41 5142 ČSN EN 10083/1
Francie		Velká Británie		Rusko	
42CD4	NF A35-552-86	708A42	BS 970/1-83	–	–
42CD4	NF A35-553-87	708M40	BS 970/1-83		
42CD4	NF A35-556-84	708M40	BS 970/3-91		
42CrMo4	NF A35-590-92	709M40	BS 970/1-83		
42CrMo4	NF EN 10083/1-91	42CrMo4	BS EN 10083/1-91		
USA		Japonsko		Kanada	
4140	SAE J404	SCM 440	JIS G4105-79	–	–
4140 H	SAE J1268	SCM 440 H	JIS G4052-79		
4140 RH	SAE J1868	SCM 440 M	JIS G3311-88		
Gr. 4140	ASTM A29	SCM 440 TK	JIS G3441-81		
Gr. B 7	ASTM A193	SNB 7	JIS G4107-81		
Itálie		Rakousko		Švédsko	
38CrMo4 KB	UNI 7356-74	42CrMo4 SP	ÖNORM M3167-62	2244	SS 142244
42CrMo4	UNI 6403-86				
42CrMo4	UNI 7845-78				
42CrMo4	UNI 7874-79				
Polsko		Maďarsko		Norsko	
40HM	PN H-84030/04-89	CMo4 CMo4 Z	MSZ 61 MSZ 6251-87	13343 42CrMo4	NS 13343 NS EN 10083/1-91
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
460	SFS 460	–	–	40CrMo4 F.1252	UNE 36012-78 UNE 36012-78
Austrálie		Belgie		Brazílie	
4140	AS 1444-86	42CrMo4	NBN 253-02-72	E 4140	Br.400
4140	AS 2506-90				
4140 H	AS 1444-86				
Čína		Jugoslávie		Rumunsko	
42CrMo	GB 8162-87	Č.4732	JUS C.B9.021-89	41MoCr11	STAS 8185-88
42CrMo	GB 3077-88			41MoCr11 AS	STAS 11290-89
ML 42CrMo	GB 6478-66			42MoCr11	STAS 791-88
				42MoCr11 q	STAS 9382/4-89

Classification of shapes for profiled rings

This classification means that all profiled (rectangular) cross-sections can be described with the aid of an alphabetical code comprising 2 or 4 letters (Fig. 61).

Rectangular cross section			Profiled cross section										
			Internal profile		external profile		profiled on both sides						
			Symmetry centre plane	unsym- metrical	Symmetry centre plane	unsym- metrical	symmetrical profiles						
							Symmetry centre plane	parallel to axis	Symmetry centre plane and parallel to axis	Point symmetry	unsym- metrical		
	RH												
	RS												
	RO												
			PIHV		PAMV		PBMV		PBBV		PBUV	projection	
			PIHE		PAHE		PBEH		PBBE		PBEU	recess	
			PIHX		PAMX		PBMX		PBBX		PBUX	other forms	

Figure 61 Classification of ring shapes

Tab. 7. STUPNĚ PŘESNOSTI PRO OBVYKLÉ, PŘESNÉ
A VELMI PŘESNÉ PROVEDENÍ

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technolo- gické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥		⊥		⊥	
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

* = všechna odpovídající hlediska podle ČSN 42 9002

Tab. 12. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ
PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 7

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1			
	Tolerance	2,4	2,5	2,7	3,0	3,3			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,8 -0,9	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3		
	Tolerance	2,7	2,8	3,0	3,3	3,6	4,0		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5		
	Tolerance	3,2	3,3	3,5	3,8	4,1	4,5		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+2,5 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,3	+2,9 -1,4	+3,1 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,8	
	Tolerance	3,7	3,8	4,0	4,3	4,6	5,0	5,5	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+2,9 -1,5	+3,0 -1,5	+3,1 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,8	+3,8 -1,9	+4,2 -2,1	
	Tolerance	4,4	4,5	4,7	5,0	5,3	5,7	6,3	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+3,4 -1,7	+3,5 -1,7	+3,6 -1,8	+3,8 -1,9	+4,0 -2,0	+4,2 -2,2	+4,6 -2,3	+5,0 -2,6
	Tolerance	5,1	5,2	5,4	5,7	6,0	6,4	6,9	7,6
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+4,1 -2,0	+4,1 -2,1	+4,2 -2,2	+4,5 -2,2	+4,7 -2,3	+5,0 -2,4	+5,3 -2,6	+6,1 -3,0
	Tolerance	6,1	6,2	6,4	6,7	7,0	7,4	7,9	9,1
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+5,0 -2,5	+5,1 -2,5	+5,2 -2,6	+5,4 -2,7	+5,6 -2,8	+5,9 -2,9	+6,2 -3,1	+6,7 -3,4
	Tolerance	7,5	7,6	7,8	8,1	8,4	8,8	9,3	10,1
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+6,5 -3,2	+6,6 -3,2	+6,7 -3,3	+6,9 -3,4	+7,1 -3,5	+7,4 -3,6	+7,7 -3,8	+8,2 -4,1
	Tolerance	9,7	9,8	10,0	10,3	10,6	11,0	11,5	12,3



RAW-TYPE RING ROLLING MACHINES

MACHINE SIZE ¹⁾	RING DATA				MACHINE DATA			
Type	Standard outside diameter	Outside diameter ²⁾	Height	Max. weight	Rolling force		Drive power	
RAW	mm	mm	mm	kg	Radial kN	Axial kN	Radial kW	Axial kW
20/16 – 800/160	160 – 800	1000	20 – 160	40	200	160	50	2 × 38
25/20 – 800/160	200 – 800	1000	20 – 160	63	250	200	75	2 × 38
32/25 – 1000/180	200 – 1000	1250	20 – 180	125	315	250	75	2 × 55
40/32 – 1250/210	200 – 1250	1500	20 – 210	250	400	315	100	2 × 55
50/40 – 1400/250	250 – 1400	1750	30 – 250	400	500	400	125	2 × 68
63/50 – 1600/315	250 – 1600	2000	30 – 315	630	630	500	160	2 × 75
80/63 – 2000/400	300 – 2000	2500	30 – 400	1000	800	630	200	2 × 110
100/80 – 2500/480	300 – 2500	3000	30 – 480	1600	1000	800	250	2 × 140
125/100 – 3000/560	400 – 3000	3600	30 – 560	2500	1250	1000	315	2 × 160
160/125 – 4000/630	400 – 4000	4600	30 – 630	4000	1600	1250	400	2 × 200
200/160 – 5000/710	500 – 5000	5600	40 – 710	6300	2000	1600	500	2 × 250
250/200 – 6000/800	500 – 6000	6600	40 – 800	8000	2500	2000	630	2 × 315
315/250 – 7000/900	630 – 7000	7800	40 – 900	10000	3150	2500	800	2 × 400
400/315 – 8000/1000	800 – 8000	9000	40 – 1000	12500	4000	3150	1000	2 × 500
500/400 – 8000/1250	800 – 8000	9000	40 – 1250	16000	5000	4000	1260	2 × 630
630/500 – 8000/1600	800 – 8000	9000	40 – 1600	20000	6300	5000	1460	2 × 730
800/630 – 8000/2000	800 – 8000	9000	40 – 2000	32000	8000	6300	1600	2 × 800
1000/800 – 10000/2500	800 – 10000	11000	40 – 2500	50000	10000	8000	2000	2 × 1000
...

¹⁾ Other machine sizes on request

²⁾ Max. outside diameter for horizontal unloading



SELECT RING ROLLING PLANTS AND MACHINES FROM SMS GROUP		
Customer	Plant/machine	Country
ThyssenKrupp Rothe Erde	RAW 63/63-1250/450 ring rolling machine	Germany
Schmiedewerk Stooss AG	RAW 80/63-1600/480 ring rolling machine	Switzerland
TRIANGOLO spol. s r.o.	RAW 100/100-2000/400 ring rolling machine	Czech Republic
Ohmi Press Works & Forging	RAW 160/125-3000/630 ring rolling machine	Japan
McInnes Rolled Rings	RAW 160/125-3000/630 ring rolling machine	USA
ThyssenKrupp Rothe Erde	RAW 200/200-5500/630 ring rolling machine	Germany
Officine A. Melesi	RAW 200/160-3500/1000 ring rolling machine	Italy
IRE-OMBA S.p.A.	RAW 315/200-4000/1000 ring rolling machine	Italy
ASFO S.p.A.	RAW 400/400-6000/1200 ring rolling machine	Italy
QAO Ruspolmet	RAW 400/400-6000/1200 ring rolling machine	Russia
Electrostal	RAW 400/200-3000/600 ring rolling machine	Russia
Bohai Steel Group Corp.	RAW 800/500-10000/2500 ring rolling machine	China
Forgiatura Morandini	RAW 2500/1000-7000/3500 ring rolling machine	Italy
Ovako Tube & Ring	RiWa 2000/80 ring rolling plant	Sweden
S. E. Forge	RiWa 5000/200/1000 ring rolling plant	India
Frisa Forjados	RiWa 5000/315 ring rolling plant	Mexico
Frisa Forjados	RiWa 8000/500 ring rolling plant	Mexico

EXPLANATION OF MACHINE DESIGNATION

RAW 315/200-4000/1000

- 315 ▶ nominal radial rolling force [t]
- 200 ▶ nominal axial rolling force [t]
- 4000 ▶ max. ring diameter [mm]
- 1000 ▶ max. ring height [mm]

RiWa 2000/80

- 2000 ▶ ring blank press force [t]
- 80 ▶ nominal radial rolling force of RAW [t]

Příloha 6 Parametry nastavení válcovacího stroje [32]

1/4

17-0399-03.RWG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F4> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F6> | Restrict. Mandrel + Cent. rolls <F7> | Restrict. Cent. arms <F8> | Restrict. Process dynamic + Another <F9>

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Design of radial advance:

☒ 1 slide (bottom)

☐ 2 slides (bottom + top)

Radial slide bottom

Diameter piston: [mm] 240.0

Diam. piston-rod: [mm] 170.0

Nominal pressure: [bar] 260.0

High pressure: [bar] 325.0

Stop force (nominal press.): [kN] 1000.0

Stop force (high press.): [kN] 1250.0

Reserve of power: [%] 10.0

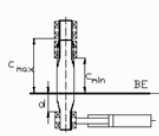
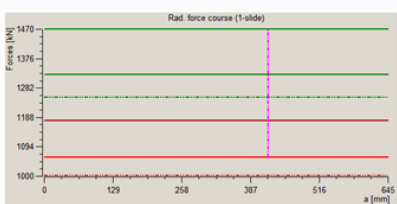
Max. usable force(nominal press.): [kN] 1000.0

Max. usable force(high press.): [kN] 1250.0

Mandrel bearing:

☐ free supported

☒ clamped bilaterally

distance c max: 645.0 [mm]

distance c min: 445.0 [mm]

distance d: 205.0 [mm]

17-0399-03.RWG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F4> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F6> | Restrict. Mandrel + Cent. rolls <F7> | Restrict. Cent. arms <F8> | Restrict. Process dynamic + Another <F9>

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Diameter piston: [mm] 230.0

Diam. piston-rod: [mm] 160.0

Nominal pressure: [bar] 260.0

High pressure: [bar] 320.0

Stop force (nominal press.): [kN] 1000.0

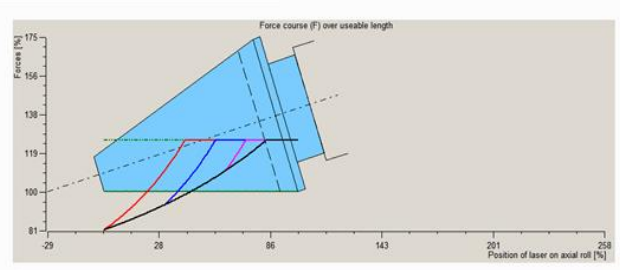
Stop force (high press.): [kN] 1250.0

Reserve of power: [%] 5.0

Max. usable force(nominal press.): [kN] 1000.0

Max. usable force(high press.): [kN] 1250.0

Force course (F) over usable length



☒ Percentage display of diagram with axial roll

Calculation course of force:

Kind of diagram: ☒ new (variable) ☐ old (const)

☒ single ☐ comparison

Clear bottom diam. and bearing: [mm] 120.0

Diameter shaft: [mm] 325.0

Sigma b perm shaft: [N/mm²] 170.0

Reduced force (tip): 81.5 [%]

OK Cancel

Příloha 6 Parametry nastavení válcovacího stroje [32]

2/4

17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F5> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F5> | Restrict. Mandrel + Cent.rolls <F2> | Restrict. Cent.arms <F5> | Restrict. Process dynamic + Another <F5> |

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

		Axial stand	Ring center: right	Ring center: left
Diameter piston:	[mm]	160.0	140.0	140.0
Diameter piston-rod:	[mm]	110.0	100.0	100.0
System pressure:	[bar]	265.0	270.0	270.0
Resene of power:	[%]	0.0	66.0	66.0
Max. system force:	[kN]	290.0	290.0	290.0
Set nominal force:	[kN]	250.0	312.5	312.5
Using of the setting force		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Max. usable force:	[kN]	532.8	141.3	141.3

OK Cancel

17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F5> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F5> | Restrict. Mandrel + Cent.rolls <F2> | Restrict. Cent.arms <F5> | Restrict. Process dynamic + Another <F5> |

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Main roll		Mandrel	
Cone diameter:	240.0 mm	Bearing diameter:	260.0 mm
Outer diameter:	430.0 mm	Diameter of bore:	140.0 mm
Height bottom:	555.0 mm	Outer diameter:	430.0 mm
Height cone:	570.0 mm	Collision diam. with taper roll:	10.0 mm
Centering roller		Total height:	400.0 mm
Bearing diameter:	120.0 mm	Chamfer height inside top:	10.0 mm
Tool level		Chamfer angle inside top:	45.0 °
Main roll bear. beyond ref. line:	50.0 mm	Chamfer angle outside:	35.0 °
Mandrel bear. beyond ref. line:	205.0 mm		
Bottom taper roll w/o load:	0.0 mm		

OK Cancel

Příloha 6 Parametry nastavení válcovacího stroje [32]

3/4

17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F4> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F6> | Restrict. Mandrel + Cent.rolls <F7> | Restrict. Cent.arms <F8> | Restrict. Process dynamic + Another <F9> |

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Main roll		Axial roll	
Max. nominal diameter:	850.0 mm	Min. tip diameter:	0.0 mm
Max. total height:	450.0 mm	Max. tip diameter:	500.0 mm
Min. profiled height:	0.0 mm	Min. pract. taper length:	50.0 mm
Min. height of lip:	32.0 mm	Max. pract. taper length:	650.0 mm
Min. depth of lip:	0.0 mm	Min. generating angle:	35.0 °
		Max. generating angle:	35.0 °
		Min. cylindrical part:	0.0 mm
		Max. cylindrical part:	100.0 mm

Standard main roll		Standard axial roll	
Nominal diameter:	680.0 mm	Practical length:	670.0 mm
Total height:	460.0 mm	Length top:	188.7 mm
		angle:	35.0 °
		Length cylind. part:	25.0 mm

OK Cancel

17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F4> | Bearing <F5> | Restrict. Main roll + Axial roll <F6> | Restrict. Mandrel + Cent.rolls <F7> | Restrict. Cent.arms <F8> | Restrict. Process dynamic + Another <F9> |

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Mandrel		Centering rollers	
Min. nominal diameter:	80.0 mm	Max. nominal diameter:	400.0 mm
Max. nominal diameter:	200.0 mm	Min. profiled height:	0.0 mm
Min. profiled height:	0.0 mm	Min. height of lip:	0.0 mm
Min. depth of lip:	0.0 mm	Min. depth of lip:	0.0 mm
		Min. bearing diameter:	50.0 mm
		Max. bearing diameter:	250.0 mm

Standard mandrel		Standard centering roller	
Nominal diameter:	140.0 mm	Nominal diameter:	300.0 mm
Permissible bending stress:	500.0 N/mm²	Total height:	400.0 mm

OK Cancel

Příloha 6 Parametry nastavení válcovacího stroje [32]

4/4

17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F5> | Bearing <F6> | Restrict. Main roll + Axial roll <F8> | Restrict. Mandrel + Cent. rolls <F7> | Restrict. Cent. arms <F9> | Restrict. Process dynamic + Another <F10>

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Centering arm geometry

m:	Dis. cent. arm axis - RRM axis:	725.0	mm
n:	Dis. main roll - cent. arm:	200.0	mm
p:	Dis. cyl. boss frame - RRM axis:	1000.0	mm
q:	Dis. cent. arm axis - frame boss:	900.0	mm
h:	Dis. cent. arm axis - cent. arm boss:	400.0	mm
Calculate leverage		9.570	-

Standard center roller cassette

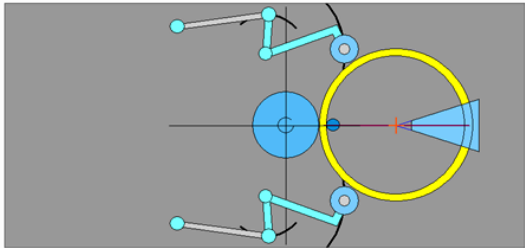
w:	Dis. cent. roll axis - cent. arm boss:	847.1	mm
i:	Dis. cent. arm axis - cent. roll axis:	800.0	mm
l:	Centering arm angle (calculated):	82.60	°
l:	Centering arm angle:	82.60	°

Rolling product

Minimum diameter:	0.0	mm
Maximum diameter:	2550.0	mm
Minimum height:	0.0	mm
Maximum height:	420.0	mm
Max. weight:	1000.0	kg

Calculation off

OK Cancel



17-0399-03.RNG Material: 42CRMO4 Rolling mill: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Motors <F1> | Radial slide <F2> | Axial slide <F3> | Another Axes <F5> | Bearing <F6> | Restrict. Main roll + Axial roll <F8> | Restrict. Mandrel + Cent. rolls <F7> | Restrict. Cent. arms <F9> | Restrict. Process dynamic + Another <F10>

Name of the rolling machine: TRIANGOLO XXX RAW 100(125)-100(125) - 2000-400

Dynamic values

Input limit value for ring growth rate: 25.0 [mm/s]

Time for accelerate the torques: 20.0 s

Another

Measuring device: ☐ Laser ☐ Measure roll

OK Cancel



TRIANGOLO spol. s r

TYPIS. VÝROBNÍ PŘEDPIS VÝKOVKU

Výkres

0225/1521/2

1526

1410

Ø1396⁺⁷₋₇

Ø1540⁺⁷₋₇

171⁺⁴₋₄

73

s=72

tepl.k.D/d/h 1561/1415/174

tepl. k. upraveno z důvodu změny rozměru při TZ (tep. kor. 2016)

Výrobní dávka

Výrobní dávka

Č. výkresu

Zákazník

Č. zákazníka

Materiál

Váha

Provedení

Doplň. znač.

Kovací teplota

Poznámka

1521/2

42CrMo4+QT

204,7000

2-kus

800 - 1 150 °C

materiál na vstupu dle TDP LN 180-1 ver.004 prokalitelnost 5 mm ... 56 - 61 HRC, 30 mm ... min. 43 HRC RAW 00141376

Požadované zkoušky protokoly

Otvřený termín

Série

Směn. výkon

24.03.2017

32

44

Jakost materiálu

Výchozí rozměr

Hrubá váha

Cena/1 kg

Mat. celkem Kč

Vsázková váha

42CrMo4

d 410 mm x 455

475,00

16,30

7 742,50

471,00

Op.

Stroj

Popis práce

Upřesnění

Výr. pomůcky

Poz.

Tř.

Tbc

Tac

Tvd

10 202

řezat z jedné tavby spol. se ZK

1

0,0

66,0

20 111

ohřev v peci karuselové
ohřev konti:pec 800°C - 2 hod.
náhřev na kovací teplotu - 2 hod (1150°C)
výdrž na teplotě - 2 hod
kove pr.586x230
předdělujeme trnem pr.180x190
předkovek pr.602/180x230
stěrač 251 , stř. čelisti velké
sloupek děrov. min10/max50
dohřeje

1
2
3

1,0
1,0
1,0

0,0
0,0
0,0

30 110

rozválcováva na předepsaný rozměr
VT pr.160 dlouhý, buben 680 nebo 708
desky standard

1
2
3

6
7
7

15,0
15,0
15,0

7,7
7,7
7,7

40 131

žihat +N spol. se ZK
diagram TZ

1

1 440,0

0,0

50 408

zušlechtit na 825-1000MPa , spol. se ZK , diagram
TZ
(tvrdost 245-285HB i na opracovaném povrchu
Dle LN180-1 ver. 4 nesmí být horní hranice
tvrdosti
překročena ani na hraně obrysu)

1

0,0

196,0

60 123

tryskat

1

0,0

10,0

70 11165

hrubuje pro UZ pr.D
1531±2/1396±7x171±4

1

7 200,0

160,0

80 410

rozřeže na v=84+/-3mm

1

0,1

28,0

90 11167

zkouška UZ dle QSA 010-2
označení C; třída kvality 5

1

0,1

25,0

100 601

kontrola jakosti mat. spektrometrem
(kontrola zaměnitelnosti)
upozornit vstupní kontrolu !!!

1

15,0

0,0

110 mistr

zkoušky u jiné položky

1

1,0

0,0

Příloha 8 Technologický postup výroby kruhu [32]

1/2

120 601 rozm., ozn, insp. certifikát 3.1
atest chem. slož., 100% kontrola tvrdosti
(měřit na povrchu 245-285HB - horní hranice
nesmí být překročena ani na hraně obrysu),
výsledky zkoušek
zpráva o prvním vzorku zak. 16-0963

1

0,0 15,0

Vypracoval		Pracuj bezpečně!	Čas na VD	18,82 dní
Datum	08.03.2016		Nejpozději kovat	05.04.2017

HLÁŠENÍ ZMETKŮ - OPRAV

Č. Reklamace:

133

Č. Výrobní dávky	Č. Výkresu 1521/2	Zákazník	Č. zákazníka	Stroj 2AW
Celk. počet ks ve výr. dávce 38	Zmetkováno kusů 1	Zmetkováno jako X kus 2	Zmetkováno na operaci 30	Vinik
Jakost materiálu 42CrMo4	Rozměr výchozího materiálu d 410 mm x 455	Vsázková váha - 1 ks 471,00	Hrubá váha - 1 ks 475,00	Celk. váha nesh. kusů 235,50
Č. Tavby 50824	Kusů 1	Pozn. <i>Je telus, šimik, puma st. Janulek, Bednarik, Hlaváček</i>		
Typ vady Výrobní vada	Příčina 105 - Výr. vada - přeložka na čelní			
Popis neshody Přeložka na čelní ploše kroužku U 1ks kroužků byla UZ zkouškou a následně vizuálně zjištěna přeložka na čelní ploše kroužku. Kroužek musel být ohrubován na H(-) = 73 mm.(bez přeložky) Čistá míra je H = 73 mm. Zamítnutý toleranční protokol.		Škoda - 1 ks Škoda - celkem		
<i>U DÍL</i> KUS NA ZAVÁZKOVÁNÍ NA SPODNÍM ČELE VADU Z DĚROVÁNÍ NA CKZ - STYL NEDRŽÍ POKRYV		Materiál	3 455,6250	
		Mzdy		
		Režie	,0000	
		Kooperace	338,4650	
		Ostatní		
		Celkem		
Hrazeno vinikem	Datum	Podpis viníka	Vyrábět náhradních kusů	Podpis OÚ
Datum vystavení 07.03.2017	Vystavil za OTK	F		

HLÁŠENÍ ZMETKŮ - OPRAV

Č. Reklamace: 17-0286/0345

17-0286/03	Č. Výkresu 1521/2	PSL, a.s.	0225	Stroj <i>LAN</i>
Celk. počet ks ve výr. dávce 44	Zmetkováno kusů 1	Zmetkováno jako X kus 2	Zmetkováno na operaci 120	Vinik
Jakost materiálu 42CrMo4	Rozměr výchozího materiálu d 410 mm x 455	Vsázková váha - 1 ks	Hrubá váha - 1 ks	Celk. váha nesh. kusů 235,50
Č. Tavby 52356	Kusů 1	Pozn.		
Typ vady Výrobní vada	Příčina 105 - Výr. vada - přeložka na čelní			
Popis neshody U 1ks z dvojkusů byla zjištěna přeložka na čelní ploše kroužku, po obrobení a odstranění přeložky je kroužek nízký, mimo toleranci.			Škoda - 1 ks	Škoda - celkem
		Materiál		3 586,5623
		Mzdy		
		Režie		,0000
		Kooperace		325,9650
		Ostatní		
		Celkem		
Hrazeno vinikem	Datum	Podpis viníka	Vyrábět náhradních kusů	Podpis OÚ
Datum vystavení 22.03.2017				Vedoucí, který zmetky přijal